

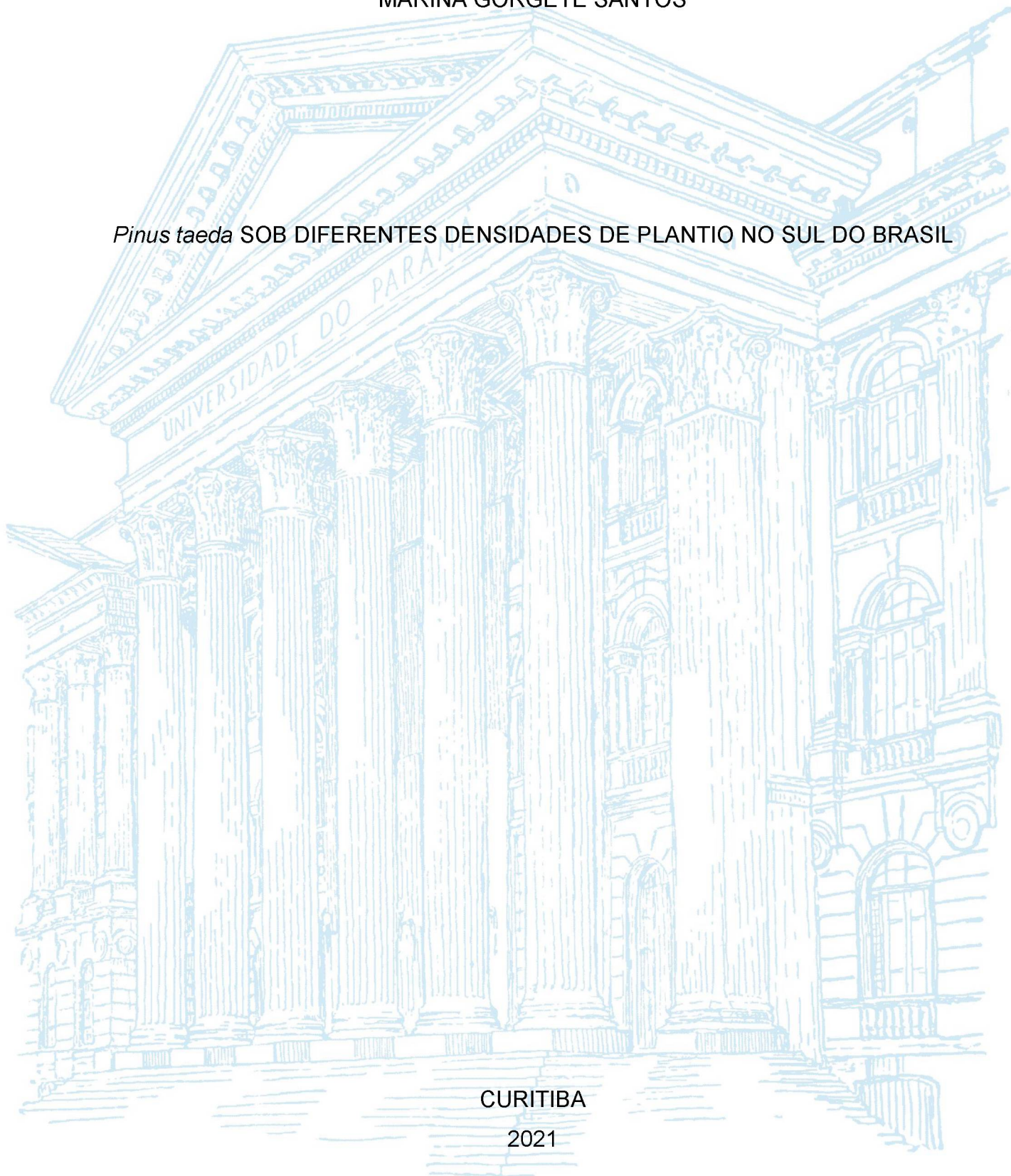
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

MARINA GORGETE SANTOS

*Pinus taeda* SOB DIFERENTES DENSIDADES DE PLANTIO NO SUL DO BRASIL

CURITIBA

2021



MARINA GORGETE SANTOS

*Pinus taeda* SOB DIFERENTES DENSIDADES DE PLANTIO NO SUL DO BRASIL

Dissertação apresentada o programa de Pós-graduação em Engenharia Florestal, Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Engenharia Florestal, Área de concentração em Silvicultura.

Orientador: Prof. Dr. Diego Tyszka Martinez.

Coorientador: Prof. Dr. Mário Dobner Jr.

CURITIBA

2021

Ficha catalográfica elaborada pela  
Biblioteca de Ciências Florestais e da Madeira - UFPR

Santos, Marina Gorgete

*Pinus taeda* sob diferentes densidades de plantio no Sul do Brasil /  
Marina Gorgete Santos. – Curitiba, 2021.  
51 f. : il.

Orientador: Prof. Dr. Diego Tyszka Martinez

Coorientador: Prof. Dr. Mário Dobner Júnior

Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Paraná, Setor de  
Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Engenharia  
Florestal. Defesa: Curitiba, 22/04/2021.

Área de concentração: Silvicultura.

1. Povoamento florestal – Crescimento – Santa Catarina. 2. Pinus  
taeda – Santa Catarina. 3. Árvores – Medição. 4. Troncos (Botânica)  
– Medição. 5. Teses. I. Martinez, Diego Tyszka. II. Dobner Júnior, Mário.  
III. Universidade Federal do Paraná, Setor de Ciências Agrárias. IV. Título.

CDD – 634.9

CDU – 634.0.52(816.4)

Bibliotecária: Berenice Rodrigues Ferreira – CRB 9/1160



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO  
SETOR DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS  
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ  
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO ENGENHARIA  
FLORESTAL - 40001016015P0

## TERMO DE APROVAÇÃO

Os membros da Banca Examinadora designada pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação em ENGENHARIA FLORESTAL da Universidade Federal do Paraná foram convocados para realizar a arguição da dissertação de Mestrado de **MARINA GORGETE SANTOS** intitulada: ***Pinus taeda* SOB DIFERENTES DENSIDADES DE PLANTIO NO SUL DO BRASIL**, sob orientação do Prof. Dr. DIEGO TYSZKA MARTINEZ, que após terem inquirido a aluna e realizada a avaliação do trabalho, são de parecer pela sua APROVAÇÃO no rito de defesa.

A outorga do título de mestre está sujeita à homologação pelo colegiado, ao atendimento de todas as indicações e correções solicitadas pela banca e ao pleno atendimento das demandas regimentais do Programa de Pós-Graduação.

CURITIBA, 22 de Abril de 2021.

Assinatura Eletrônica

22/04/2021 13:26:07.0

DIEGO TYSZKA MARTINEZ

Presidente da Banca Examinadora (UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ)

Assinatura Eletrônica

23/04/2021 13:39:43.0

ALEXANDRE BEHLING

Avaliador Interno (UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ)

Assinatura Eletrônica

22/04/2021 17:10:44.0

SIDNEY FERNANDO CALDEIRA

Avaliador Externo (UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO)

---

Avenida Lothário Meissner, 632 - CURITIBA - Paraná - Brasil

CEP 80210-170 - Tel: (41) 3360-4212 - E-mail: [pgfloresta@gmail.com](mailto:pgfloresta@gmail.com)

Documento assinado eletronicamente de acordo com o disposto na legislação federal Decreto 8539 de 08 de outubro de 2015.

Gerado e autenticado pelo SIGA-UFPR, com a seguinte identificação única: 89820

Para autenticar este documento/assinatura, acesse <https://www.prppg.ufpr.br/siga/visitante/autenticacaoassinaturas.jsp> e insira o código 89820



## **DEDICATÓRIA**

Não há exemplo maior de dedicação do que o da nossa família. À minha querida família, que tanto admiro, dedico o resultado de todo trabalho realizado ao longo deste percurso, pois é graças ao seu esforço que hoje posso concluir esta importante etapa da minha vida.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço a Deus pela minha vida e por me permitir ultrapassar todos os obstáculos encontrados ao longo da realização deste trabalho. Agradeço imensamente a minha família, em especial aos meus pais, Elias e Silbene, minha irmã Natália, minha avó Maria, meu noivo Caio, e aos amigos, que me incentivaram nos momentos difíceis e me apoiaram ao longo de todo o tempo em que me dediquei a este trabalho. Aos meus colegas de pós-graduação, por compartilharem comigo tantos momentos de descobertas e aprendizado e por todo o companheirismo ao longo deste percurso.

A todos os professores do programa de pós-graduação de engenharia florestal - UFPR, em especial ao meu orientador Dr. Diego Tyszka Martinez, pela dedicação, correções e ensinamentos que me permitiram apresentar um melhor desempenho no meu processo de formação profissional ao longo do curso. Ao meu Coorientador Dr. Mário Dobner Jr. pela ajuda, correções e paciência com a qual auxiliou o meu aprendizado. Aos membros da banca por aceitarem o convite para avaliar e corrigir este trabalho.

A empresa Florestal Gateados por todo suporte dado a minha pesquisa. A coordenação de aperfeiçoamento de pessoal de nível superior - Brasil (CAPES) pelo financiamento.

## RESUMO

O objetivo do presente trabalho foi estudar povoamentos de *Pinus taeda* implantados em 1984, com as densidades iniciais de 2.500, 1.250 e 625 indivíduos/ha, conduzidos sem desbastes, e avaliar aspectos de crescimento e da produção aos 35 anos de idade. Os povoamentos estão localizados no planalto sul de Santa Catarina. Foram realizadas 7 medições durante a rotação de 35 anos para a coleta do diâmetro à altura do peito (dap) de todos os indivíduos. Aos 35 anos foram medidos o dap e a altura total das árvores e avaliadas a sanidade e qualidade do fuste dos indivíduos. Com isso, foi possível avaliar a influência dos espaços vitais de 4, 8 e 16 m<sup>2</sup> por indivíduo quanto aos aspectos de área basal (G) e sobrevivência (S) e a sua influência no crescimento e na qualidade dos povoamentos. Para as análises ao longo de 35 anos utilizou-se o modelo de Chapman-Richards para descrever o crescimento da variável G, e a análise de variância para identificar se houve diferença entre os tratamentos. Para analisar as variáveis do plantio na idade final, foram utilizadas as funções de densidade de probabilidade (FDP) Gamma e Weibull (3P) para descrever a estrutura das variáveis diâmetro e altura, respectivamente. Em sequência foram aplicadas análise multivariada e função discriminante para identificar a correlação destas variáveis. Para as variáveis qualitativas, a sanidade foi avaliada em três classificações: 1 - Sadia, sem danos aparentes; 2 - Estágio inicial de deterioração por pragas e/ou doenças; 3 - Estágio avançado de deterioração por pragas e/ou doenças. A variável qualidade de fuste também foi avaliada em três classificações: 1 - Fuste sem defeitos aparentes; 2 - Fuste ligeiramente torto, porém cilíndrico e desprovido de ramificações consideráveis; 3 - Fuste com forte tortuosidade ou bifurcação. Após análises, concluiu-se que a densidade limita a área basal. Em rotações de ciclo curtos com até 15 anos, plantios com 2.500 indivíduos/ha apresentaram maior área basal, porém ao considerar rotações longas, acima de 20 anos, ocorre a inversão, em que o tratamento com 625 indivíduos por hectare resultou em maior área basal final (78 m<sup>2</sup>/ha) seguido do tratamento com 1.250 indivíduos com 77 m<sup>2</sup>/ha, em decorrência, os dois tratamentos exibiram maior eficácia em ocupar o espaço produtivo disponível. Ao considerar plantios apenas na idade de 35 anos, os três tratamentos apresentaram diferença estatística para as médias de diâmetro. O tratamento com maior espaço vital resultou em maior correlação para altura e diâmetro e apresentou maior quantidade de indivíduos dominantes para essas variáveis. Porém ao considerar a qualidade do fuste, esta é afetada negativamente devido ao amplo espaçamento do plantio com 625 indivíduos por hectare. Os indivíduos dominantes de todos os tratamentos apresentaram resultados superiores para as variáveis qualitativas.

Palavras-chave: Espaço vital. Sanidade. Fuste. Função de densidade de probabilidade.

## ABSTRACT

The objective of this work was to study *Pinus taeda* stands established in 1984, with initial densities of 2,500, 1,250 and 625 individuals/ha, conducted without thinning, and to evaluate aspects of growth and production at 35 years of age. The settlements are located on the southern plateau of Santa Catarina. Seven measurements were taken during a 35-year rotation to collect the diameter at breast height (dbh) of all individuals. At 35 years of age, the dbh and the total height of the trees were measured and the health and quality of the stem of the individuals were evaluated. With this, it was possible to evaluate the influence of living spaces of 4, 8 and 16 m<sup>2</sup> per individual regarding the basal area (G) and survival (S) aspects and their influence on the growth and quality of the stands. For the analyzes over 35 years, the Chapman-Richards model was used to describe the growth of variable G, and the analysis of variance to identify differences between treatments. To analyze the planting variables at final age, the probability density functions (PDF) Gamma and Weibull (3P) were used to describe the structure of the diameter and height variables, respectively. In sequence, multivariate analysis and discriminant function were applied to identify the correlation of these variables. For qualitative variables, health was assessed in three classifications: 1 - Healthy, with no apparent damage; 2 - Initial stage of deterioration by pests and/or diseases; 3 - Advanced stage of deterioration by pests and/or diseases. The stem quality variable was also evaluated in three classifications: 1 - Stem without apparent defects; 2 - Slightly crooked shaft, however cylindrical and devoid of considerable ramifications; 3 - Stem with strong tortuosity or bifurcation. After analysis, it was concluded that density limits the basal area. In short cycle rotations with up to 15 years, plantations with 2,500 individuals/ha had a greater basal area, but when considering long rotations, above 20 years, there is an inversion, in which the treatment with 625 individuals per hectare resulted in a greater basal area final (78 m<sup>2</sup>/ha) followed by treatment with 1,250 individuals with 77 m<sup>2</sup>/ha, as a result, the two treatments exhibited greater efficacy in occupying the available productive space. When considering plantations only at the age of 35 years, the three treatments showed a statistical difference for the average diameter. The treatment with larger living space resulted in a greater correlation for height and diameter and showed a greater number of dominant individuals for these variables. However, when considering the quality of the stem, this is negatively affected due to the wide spacing of the planting with 625 individuals per hectare. The dominant individuals of all treatments presented superior results for the qualitative variables.

Keywords: Living space. Sanity. Shaft. Probability density function.



## LISTA DE FIGURAS

### CAPÍTULO 2

FIGURA 1 - LOCALIZAÇÃO DA ÁREA EXPERIMENTAL .....	17
FIGURA 2 - RESÍDUOS DO MODELO CHAPMAN-RICHARDS POR TRATAMENTO. ....	20
FIGURA 3 - CRESCIMENTO E ICA AJUSTADOS DA ÁREA BASAL EM FUNÇÃO DE DENSIDADE DE PLANTIO OBTIDO EM EXPERIMENTOS DE <i>Pinus taeda</i> NA REGIÃO SUL DE SANTA CATARINA. ....	20
FIGURA 4 - RELAÇÃO DO NÚMERO DE INDIVÍDUOS, CURVAS DE TENDÊNCIA E EQUAÇÕES EM FUNÇÃO DE DIFERENTES IDADES E DENSIDADES PARA EXPERIMENTOS DE <i>Pinus taeda</i> NA REGIÃO SUL DE SANTA CATARINA. ....	22

### CAPÍTULO 3

FIGURA 5 - ÁRVORE DE <i>P. taeda</i> EM ESTÁGIO INICIAL DE DETERIORAÇÃO POR PRAGAS E OU DOENÇAS AOS 35 ANOS. ....	30
FIGURA 6 – CLASSIFICAÇÃO DA QUALIDADE DO FUSTE PARA INDIVÍDUOS DE <i>P. taeda</i> AOS 35 ANOS .....	31
FIGURA 7 - DISTRIBUIÇÃO E HISTOGRAMA DE FREQUÊNCIA DA ALTURA DE UM PLANTIO DE <i>Pinus taeda</i> AOS 35 ANOS DE IDADE COM TRÊS DENSIDADES. ....	35
FIGURA 8 - DISTRIBUIÇÃO E HISTOGRAMA DE FREQUÊNCIA DE DAP DE UM PLANTIO DE <i>Pinus taeda</i> AOS 35 ANOS DE IDADE .....	39
FIGURA 9 - ALTURA, CURVAS DE TENDÊNCIA E CORRELAÇÕES EM FUNÇÃO DO DAP EM DIFERENTES DENSIDADES PARA EXPERIMENTO DE <i>P. taeda</i> NA REGIÃO SUL DE SANTA CATARINA. ....	41
FIGURA 10 - FUNÇÕES DISCRIMINANTES CANÔNICAS DE DIFERENTES DENSIDADES DE <i>P. taeda</i> AOS 35 ANOS. ....	42
FIGURA 11 - CLASSIFICAÇÃO DE SANIDADE PARA <i>P. taeda</i> EM TRÊS DENSIDADES AOS 35 ANOS LOCALIZADOS NA REGIÃO SUL DE SANTA CATARINA. ....	44

FIGURA 12 - CLASSIFICAÇÃO DE QUALIDADE DO FUSTE PARA <i>P. taeda</i> AOS 35 ANOS SOB TRES DENSIDADES LOCALIZADOS NA REGIÃO SUL DE SANTA CATARINA. ....	45
--	----

## LISTA DE TABELAS

### CAPÍTULO 2

TABELA 1 - CARACTERÍSTICAS DOS TRATAMENTOS NO EXPERIMENTO.....	18
TABELA 2- ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA OS 3 TRATAMENTOS AVALIADOS EM 7 IDADES, EM PLANTIOS EXPERIMENTAIS DE <i>P. taeda</i> NA REGIÃO SUL DE SANTA CATARINA .....	19
TABELA 3 - COEFICIENTES E ESTATÍSTICAS PARA O MODELO DE CRESCIMENTO CHAPMAN-RICHARDS POR TRATAMENTO AJUSTADOS PARA ÁREA BASAL	19

### CAPÍTULO 3

TABELA 4 – INFORMAÇÕES E CARACTERÍSTICAS DOS TRATAMENTOS .....	30
TABELA 5 - CLASSIFICAÇÃO DE SANIDADE DA ÁRVORE E QUALIDADE DO FUSTE .....	30
TABELA 6- COMPARAÇÃO DA DENSIDADE E ESPAÇO VITAL (EV) DOS TRATAMENTOS DE <i>P. taeda</i> EM FASE INICIAL E AOS 35 ANOS E SUA SOBREVIVÊNCIA LOCALIZADO NA REGIÃO SUL DE SANTA CATARINA.....	33
TABELA 7 - ESTATÍSTICA DESCRITIVA DA ALTURA EM EXPERIMENTO DE <i>P.</i> <i>taeda</i> AOS 35 ANOS COM TRÊS DENSIDADES DE PLANTIO .....	33
TABELA 8 – TESTE DE COMPARAÇÃO DE MÉDIAS DE DAP PARA TRÊS DENSIDADES DE PLANTIO EM EXPERIMENTO DE <i>P. taeda</i> AOS 35 ANOS.....	34
TABELA 9 - ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA VARIÁVEL ALTURA EM EXPERIMENTO DE <i>P. taeda</i> AOS 35 ANOS COM TRÊS DENSIDADES.....	34
TABELA 10 - FUNÇÕES DE DISTRIBUIÇÃO UTILIZADAS E TESTE DE ADERÊNCIA PARA ALTURA DE <i>P. taeda</i> AOS 35 ANOS. ....	36
TABELA 11 - FREQUÊNCIA POR CLASSE DE ALTURA PARA <i>P. taeda</i> AOS 35 ANOS NA REGIÃO SUL DE SANTA CATARINA .....	36

TABELA 12 - ESTATÍSTICA DESCRITIVA DO DAP EM EXPERIMENTO DE <i>P. taeda</i> AOS 35 ANOS COM TRÊS DENSIDADES DE PLANTIO .....	37
TABELA 13 – TESTE DE COMPARAÇÃO DE MÉDIAS DE DAP PARA TRÊS DENSIDADES DE PLANTIO EM EXPERIMENTO DE <i>P. taeda</i> AOS 35 ANOS .....	37
TABELA 14 - ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA VARIÁVEL DAP EM EXPERIMENTO DE <i>P. taeda</i> AOS 35 ANOS COM TRÊS DENSIDADES .....	37
TABELA 15 - FUNÇÕES DE DISTRIBUIÇÃO UTILIZADAS E TESTE DE ADERÊNCIA PARA DAP DE <i>P. taeda</i> AOS 35 ANOS .....	39
TABELA 16 - FREQUÊNCIA POR CLASSE DE DIÂMETRO PARA <i>P. taeda</i> AOS 35 ANOS EM SANTA CATARINA SOB TRÊS DENSIDADES DE PLANTIO.....	40
TABELA 17 - RESULTADOS DE ANÁLISE MULTIVARIADA PARA OS TRATAMENTOS DE ALTA, MÉDIA E BAIXA DENSIDADE COM AS VARIÁVEIS DAP E ALTURA DE EXPERIMENTOS DE <i>P. taeda</i> LOCALIZADOS NA REGIÃO SUL DE SANTA CATARINA .....	42
TABELA 18 - CORRELAÇÕES ENTRE GRUPOS NO CONJUNTO ENTRE VARIÁVEIS DISCRIMINANTES E FUNÇÕES DISCRIMINANTES CANÔNICAS PADRONIZADAS.....	42



## SUMÁRIO

<b>1 ASPECTOS GERAIS DA PESQUISA .....</b>	<b>12</b>
1.1 INTRODUÇÃO GERAL .....	12
1.2 OBJETIVOS .....	14
1.2.1 Objetivo geral .....	14
1.2.2 Objetivos específicos.....	14
1.3 ESTRUTURAÇÃO.....	14
 <b>2 COMPORTAMENTO DA ÁREA BASAL E DA SOBREVIVÊNCIA DE <i>PINUS</i></b>	
<b><i>TAEDA</i> SOB DIFERENTES DENSIDADES DE PLANTIOS NO SUL DO BRASIL .</b>	<b>15</b>
2.1 INTRODUÇÃO .....	15
2.1.1 Objetivo geral .....	16
2.1.2 Objetivos específicos.....	16
2.2 MATERIAL E MÉTODOS .....	16
2.2.1 Área de estudo .....	16
2.2.2 Descrição do experimento.....	17
2.2.3 Análise dos experimentos .....	18
2.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	19
2.4 CONCLUSÕES .....	24
 <b>3 INFLUÊNCIA DO ESPAÇO VITAL NAS CARACTERÍSTICAS QUANTITATIVAS</b>	
<b>E QUALITATIVAS EM POVOAMENTOS DE <i>PINUS TAEDA</i> COM 35 ANOS DE</b>	
<b>IDADE 28</b>	
3.1 INTRODUÇÃO .....	28
3.2 OBJETIVOS .....	29
3.2.1 Objetivo geral .....	29
3.2.2 Objetivos específicos.....	29
3.3 MATERIAL E MÉTODOS .....	29
3.4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	32
3.4.1 Espaço vital inicial x espaço vital aos 35 anos .....	32
3.4.2 Altura total .....	33

3.4.3 Dap.....	37
3.4.4 Correlação altura x dap .....	40
3.4.5 Sanidade .....	43
3.4.6 Qualidade do fuste .....	44
3.5 CONCLUSÕES .....	45
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>47</b>

## 1 ASPECTOS GERAIS DA PESQUISA

### 1.1 INTRODUÇÃO GERAL

Atualmente o setor de florestas plantadas no Brasil apresenta um total de 9 milhões de hectares plantados, sendo 77% do gênero *Eucalyptus*, 18% de *Pinus* e o restante de outras espécies; Do total cultivado com *Pinus*, o estado do Paraná detém a maior parcela, com total de 1,64 milhão de hectares plantados (IBÁ, 2020). Tal situação demonstra a importância de desenvolver estudos sobre as principais espécies plantadas.

O gênero *Pinus* é originado no hemisfério norte, foi introduzido no Brasil em 1948, porém plantios comerciais em grande escala só iniciaram em 1960; Algumas espécies desse gênero, como *Pinus taeda* L. geram grande interesse econômico por possuírem características como elevada qualidade da madeira, resistência aos fatores climáticos e adaptabilidade, principalmente no sul e sudeste do Brasil (SHIMIZU, 2008).

Ao considerar a implantação de um povoamento florestal, dentre as principais características que devem ser ponderadas está o espaçamento que será utilizado, que reflete no espaço vital disponível para cada indivíduo se desenvolver. Espaçamentos mal planejados podem ocasionar excesso de produção de galhos, bifurcações, declínio do vigor, excesso de árvores suprimidas, e, por consequência, aumenta a predisposição ao ataque de pragas e doenças e afeta a sanidade dos indivíduos (SHIMIZU, 2008). Para a espécie *P. taeda*, tradicionalmente no Brasil foram utilizados espaços vitais de 4m<sup>2</sup> a 10,5m<sup>2</sup> (LIMA, 2010). Ao tomar a decisão de qual espaçamento utilizar, o objetivo da produção deve ser claro, pois implicará nos resultados de como será a formação da floresta e afetará os tratos culturais que deverão ser aplicados, a qualidade da madeira, a colheita e os custos de produção (SIMÕES et al., 1976).

O espaçamento atua de forma direta na sobrevivência e no crescimento do plantio. Como crescimento, as variáveis mais utilizadas para estudo são o diâmetro à altura do peito (dap a 1,3m do solo) altura e área basal. De acordo com Dacosta (2008), a sobrevivência e área basal estão diretamente ligadas, a área basal amplia consideravelmente até o momento em que se inicia a competição intraespecífica. Com o início desta competição ocorre o autodesbaste, que é a mortalidade natural

de alguns indivíduos da floresta, ocasionando a manutenção ou redução da área basal, em que a densidade afeta diretamente de forma quantitativa e qualitativa a madeira produzida. Esse processo de autodesbaste pode gerar aumento individual do dap e da altura, pois proporciona a liberação de espaço para desenvolvimento dos indivíduos remanescentes (SCHNEIDER et al., 2008).

Foi Reineke (1933) quem iniciou os estudos sobre o comportamento do autodesbaste, em que atualmente é complementado com o uso do Diagrama de Manejo de Densidade (DMD) em que se define uma zona limite, a partir da linha de autodesbaste, em que o povoamento deve se manter incluído dentro (REID, 2004). Com a utilização desse diagrama, é possível projetar desbastes de acordo com o objetivo desejado, a partir do controle da densidade (LONG e SMITH, 1984).

Além do estudo durante a rotação, é de grande importância analisar também o comportamento final dos plantios próximo à idade de corte. Uma possibilidade para descrever de forma mais detalhada a estrutura desses plantios é com a utilização de função de densidade de probabilidade (FDP) com destaque para as funções Gamma, Lognormal, Beta, SB Johnson, SBB de Johnson, Weibull, Exponencial e Normal (SCOLFORO, 1998), em que a função Weibull se destaca no setor florestal por apresentar maior aderência com as variáveis (BAILEY e DELL, 1973; GUIMARÃES, 1994; VALEJOS, 2003; DEBASTIANI et al., 2019).

Também são importantes analisar os fatores qualitativos dos plantios florestais. Um problema corriqueiro enfrentado nos plantios de *P. taeda* são os ataques ocasionados por *Sirex noctilio* (vespa-da-madeira), que estão relacionados aos plantios não desbastados e com alta densidade (PENTEADO et al., 2014). Os principais danos causados por esse inseto são a formação de galerias provocadas pelas suas larvas, que se torna um ambiente propício para o desenvolvimento de fungos do gênero *Botryodiplodia*, além dos orifícios de emergência gerados pela saída dos insetos adultos, que resultam em diversos danos à madeira (EMBRAPA FLORESTAS, 2011).

A qualidade do fuste também sofre influência da densidade. Quanto maior o espaçamento, maior será a produção de galhos e a presença de bifurcações (SUTTON, 1970; FORREST, 1971), características estas que reduzem a qualidade ou inviabilizam a produção de madeira para serraria.

Apesar da literatura apresentar uma vasta gama de estudos com a espécie *P. taeda* e suas variáveis sob diversos espaçamentos, este estudo apresenta como



diferencial análises com maior amplitude de espaços vitais (4 a 16m<sup>2</sup>) sob rotação longa de 35 anos.

## 1.2 OBJETIVOS

### 1.2.1 Objetivo geral

O objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito de três diferentes espaços vitais durante 35 anos e a sua influência sobre diferentes variáveis ao final da rotação de povoamentos de *Pinus taeda*.

### 1.2.2 Objetivos específicos

- Avaliar a influência de três espaços vitais (4, 8 e 16 m<sup>2</sup>) no desenvolvimento em área basal e na sobrevivência ao longo de 35 anos em plantios experimentais de *Pinus taeda* no sul do Brasil.
- Avaliar a influência de três espaços vitais (4, 8 e 16 m<sup>2</sup>) nas características quantitativas e qualitativas em plantios experimentais de *Pinus taeda* com 35 anos, no sul do Brasil.

## 1.3 ESTRUTURAÇÃO

Este trabalho foi desenvolvido em dois capítulos, sendo estruturado da seguinte forma:

Capítulo 1 - Aspectos gerais da pesquisa.

Capítulo 2 - comportamento da área basal e da sobrevivência de *Pinus taeda* sob diferentes densidades de plantios no sul do Brasil - Corresponde ao estudo do desenvolvimento dos plantios durante 35 anos.

Capítulo 3 - Influência do espaço vital nas características quantitativas e qualitativas em povoamentos de *Pinus taeda* com 35 anos de idade - Corresponde ao estudo das variáveis ao final da rotação de 35 anos.

## **2 COMPORTAMENTO DA ÁREA BASAL E DA SOBREVIVÊNCIA DE *Pinus taeda* SOB DIFERENTES DENSIDADES DE PLANTIOS NO SUL DO BRASIL**

### **2.1 INTRODUÇÃO**

Ao definir o planejamento florestal e sua produção, diversos aspectos devem ser pontuados. De acordo com Balloni e Simões (1980), entre os principais aspectos está a definição da densidade a ser utilizada no plantio, em conjunto com o espaçamento em que será implantado. O objetivo principal para determinar essa decisão é favorecer o desenvolvimento máximo dos indivíduos com o menor custo possível (BOTELHO, 1998).

Até o início dos anos 2000, os plantios com *Pinus* no Brasil tinham como principal consumidor a indústria de papel e celulose, o que possibilitava o uso de espaçamentos menores visando a quantidade, porém com o aumento da demanda por madeira para serraria, a densidade de plantio foi alterada para aumentar a produção em volume de tora (SANQUETTA et al., 2003b).

A implantação de plantios de *Pinus taeda* L. com objetivo de produção de toras possui o foco de produzir madeira de alta qualidade, sendo a alta sobrevivência uma resposta benéfica para o produtor. Diversos aspectos podem influenciar nessa sobrevivência. A redução da taxa de sobrevivência, ou a mortalidade, podem ser definidas como regular, que é causada por competição, fatores genéticos, idade e qualidade de sítio, ou a irregular causada por ventos, descargas elétricas naturais e outras causas de origem abiótica, ou causas de origem biótica, como animais, pragas e doenças (MIRANDA et al., 2017).

Ao analisar a sobrevivência e o desenvolvimento do crescimento nos plantios é possível indicar melhores sistemas de condução e definir quais técnicas e decisões devem ser tomadas. A utilização dos dados de área transversal, área basal e densidade ao longo dos anos é de grande relevância para essa investigação.

Ao priorizar a qualidade e a quantidade de madeira produzida, deve se levar em consideração que são características influenciadas pela densidade inicial do plantio, que afeta a sobrevivência natural dos indivíduos e altera diretamente a área basal do povoamento (SCHNEIDER et al., 2018). A área basal máxima que pode ser definida como o número de árvores dentro do povoamento e sua dimensão individual, com viabilidade para se manterem vivas e nutridas dentro de uma

condição ecológica definida, também pode ter seu valor delimitado de acordo com a densidade aplicada (SCHNEIDER e FINGER, 1993).

Apesar da importância econômica das plantações de *P. taeda* no sul do Brasil, ainda faltam pesquisas sobre a influência da densidade de plantio no seu crescimento, por longos períodos de produção (35 anos) sem a aplicação de desbastes.

### 2.1.1 Objetivo geral

O objetivo deste estudo foi analisar o comportamento da área basal e do número de indivíduos por hectare ao longo das idades até a rotação final de *Pinus taeda* em diferentes densidades iniciais.

### 2.1.2 Objetivos específicos

- Identificar a área basal máxima de cada tratamento;
- Identificar se há diferença para a área basal entre os tratamentos;
- Definir a melhor densidade para incremento em área basal;

## 2.2 MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi desenvolvido em uma área experimental com plantios de *Pinus taeda*. Os indivíduos foram submetidos a diferentes densidades de plantios, sob regime *pulpwood*, sem podas e desbastes com objetivo de avaliar o desenvolvimento da espécie sem interferências.

### 2.2.1 Área de estudo

Os povoamentos estão localizados no município de Campo Belo do Sul, Santa Catarina (Figura 1), planalto sul do estado, a aproximadamente 900 m de altitude. De acordo com a classificação de Köppen, o clima é do tipo Cfb, mesotérmico, subtropical úmido, com verões frescos, sem estação seca e com fortes geadas (ALVARES et al., 2013). A precipitação média anual é de 1555 mm, e temperatura com variação média mensal de 11,5 °C a 21,0 °C (WREGGE et al., 2012).

Os solos predominantes da região são nitossolos e cambissolos com origem de rochas magmáticas como basalto e diábase (DORTZBACH et al., 2016).

FIGURA 1 - LOCALIZAÇÃO DA ÁREA EXPERIMENTAL



FONTE: O autor (2021)

### 2.2.2 Descrição do experimento

O preparo da área foi realizado com queima da vegetação campestre e gradeamento do solo. Os povoamentos foram implantados em 1984, com mudas de raiz nua com 6 meses de idade. Efetuaram-se os tratos culturais de roçada e controle de formigas nos 3 primeiros anos após o plantio. Não foram realizadas podas e nem desbastes.

A implantação foi realizada em três densidades de plantio e duas repetições cada, em delineamento inteiramente casualizado, conforme Tabela 1. Cada parcela possui uma área total de  $\sim 2.000 \text{ m}^2$ . As medições foram realizadas na parte central da parcela, com área útil de  $\sim 1.000 \text{ m}^2$ , desconsiderando a bordadura. Foram coletados os diâmetros à altura do peito (dap, 1,3 m) de todos os indivíduos em 20



avaliações ao longo dos 35 anos. A partir da altura das 100 árvores mais altas por hectare, utilizou-se de forma proporcional as 10 arvores mais altas de cada parcela aos 35 anos, foi comparada com a classificação de Índice de Sitio (35) feita por Schuchovski et al. (2019) para povoamentos de *P. taeda* no sul do Brasil, e os três tratamentos deste estudo se enquadram na classe de sítio I, com  $IS_{35} = 34,4$  m.

TABELA 1 - CARACTERÍSTICAS DOS TRATAMENTOS NO EXPERIMENTO

Tratamento	Densidade inicial (indivíduos/ha)	Espaçamento (m)
2500	2.500	2,5 x 1,6 m
1250	1.250	2,5 x 3,2 m
625	625	5,0 x 3,2 m

Fonte: O autor (2021).

### 2.2.3 Análise dos experimentos

Foram utilizadas as variáveis área basal (G), número de indivíduos sobreviventes (N) e sobrevivência (S). Para as mesmas, realizou-se a estatística descritiva dos dados em sete idades, a fim de avaliar o comportamento em intervalos definidos de cinco anos. Na sequência, foi aplicado o teste de Bartlett para avaliar a homogeneidade das variâncias e o Gráfico qq-Plot para avaliar a normalidade. Constatada a necessidade, a variável N foi transformada para  $1/N$  e a variável G em  $G^{1,5}$ , para atender os pressupostos na análise de variância.

Foram realizadas análises de variância em delineamento inteiramente casualizado em esquema fatorial no software SAS: [SAS® Logon Manager](#) versão para acadêmicos e universidades, para analisar os fatores Densidade Inicial (DI) e Idade (I) e suas interações para as variáveis com G e N. Foi utilizado este esquema de análise para identificar, caso exista, o efeito da densidade de plantio, da idade e se existe interação entre densidade e idade, a fim de compreender como essas relações de crescimento em função da densidade ao longo das idades variam.

Após o processamento dos dados foi possível ajustar o modelo de crescimento de Chapman-Richards, que atende os pressupostos para a modelagem do crescimento e da produção florestal. Uma vez que sucessivas medições foram efetuadas nas mesmas parcelas, obteve-se uma estrutura de dados longitudinais, portanto, uma série de valores auto correlacionados. Com isso aplicou-se o modelo para a variável área basal, a fim de descrever o crescimento passado e possibilitar prognoses. O modelo foi processado por meio de software Excel através da fórmula:

$$y = \beta_0 * (1 - \exp(-\beta_1 * x_i))^{\beta_2}$$

Em que:  $y$ : Variável dependente área basal;  $x_i$ : Variável independente (idade);  $\beta_0, \beta_1$  e  $\beta_2$ : Parâmetros a serem estimados.

## 2.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Com a análise de variância das variáveis (Tabela 2) Densidade Inicial (DI) e Idade (I) e as interações para as variáveis Número de Indivíduos (N) e área Basal (G). Verificou-se que a interação para todos os fatores foi estatisticamente significativa, indicando que seus efeitos não são independentes e variaram ao longo dos anos analisados. Ou seja, o número de indivíduos e a área basal foram afetados pela densidade inicial e idade nos tratamentos.

TABELA 2- ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA OS 3 TRATAMENTOS AVALIADOS EM 7 IDADES, EM PLANTIOS EXPERIMENTAIS DE *P. taeda* NA REGIÃO SUL DE SANTA CATARINA

FV	GL	Quadrado médio	
		N	G
Densidade (DI)	2	4,7464395E-6**	43763,629**
Idade (I)	6	4,1481768E-8**	221728,514**
DI*I	11	2,44376E-8**	7840,476*
R <sup>2</sup>		0,995108	0,977446
CV(%)		4,332257	10,11312

\*\* Significativo a 1% de probabilidade;

Fonte: O autor (2021).

Após o ajuste do modelo de Chapman-Richards para a área basal de cada tratamento, foram obtidos os coeficientes ajustados e as estatísticas de qualidade de ajuste (Tabela 3).

TABELA 3 - COEFICIENTES E ESTATÍSTICAS PARA O MODELO DE CRESCIMENTO CHAPMAN-RICHARDS POR TRATAMENTO AJUSTADOS PARA ÁREA BASAL

Tratamento	Estatísticas		Coeficientes		
	Syx%	R <sup>2</sup> ajus	$\beta_0$	$\beta_1$	$\beta_2$

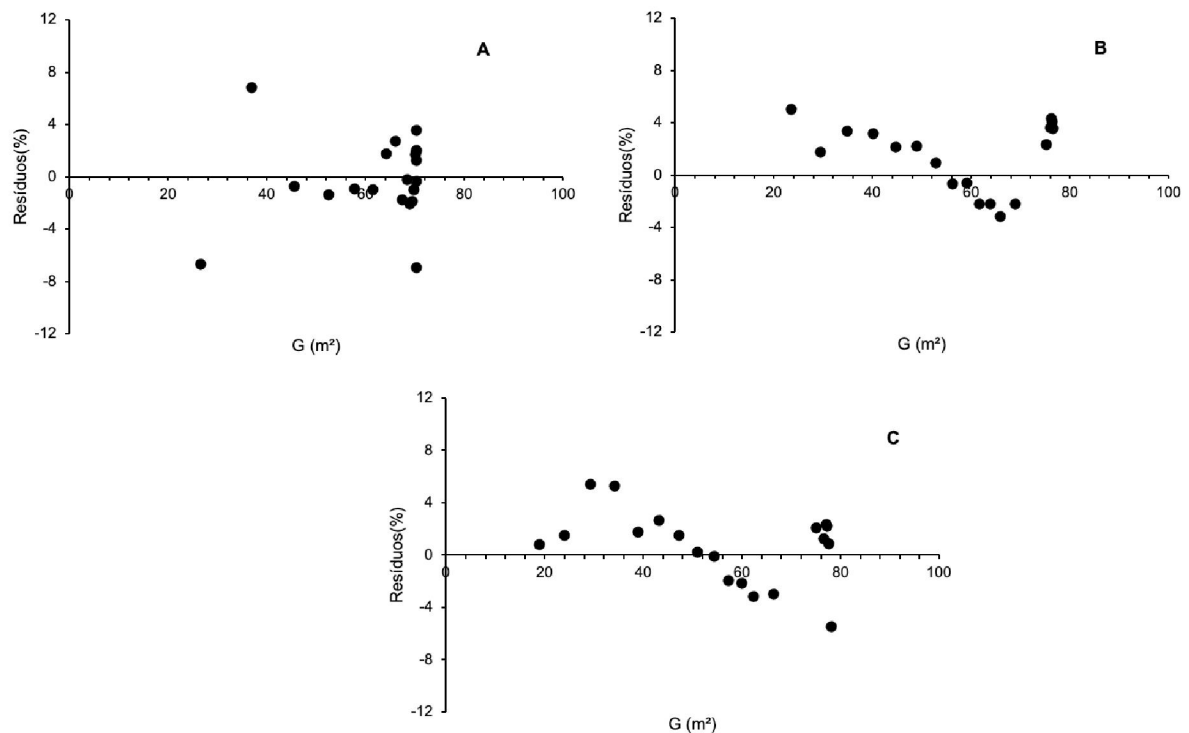
2500	2,99	0,9819	70,366	0,382	6,085
1250	6,15	0,9735	77,469	0,164	2,532
625	3,82	0,9925	79,540	0,142	2,578

ONDE: Syx= Erro padrão da estimativa (%);  $R^2$  ajus.= Coeficiente de determinação ajustado;  $\beta_0$ ,  $\beta_1$  e  $\beta_2$ = Coeficientes.

FONTE: O Autor (2021)

Para a distribuição dos resíduos (Figura 2), ao comparar os três tratamentos, o tratamento 2500 (Figura 2A) apresentou uma distribuição mais aleatória em torno do eixo x, já os tratamentos 1250 (Figura 2B) e 625 (Figura 2C) apresentaram uma distribuição não linear, provavelmente devido ao menor número de indivíduos utilizados.

FIGURA 2 - RESÍDUOS DO MODELO CHAPMAN-RICHARDS POR TRATAMENTO.

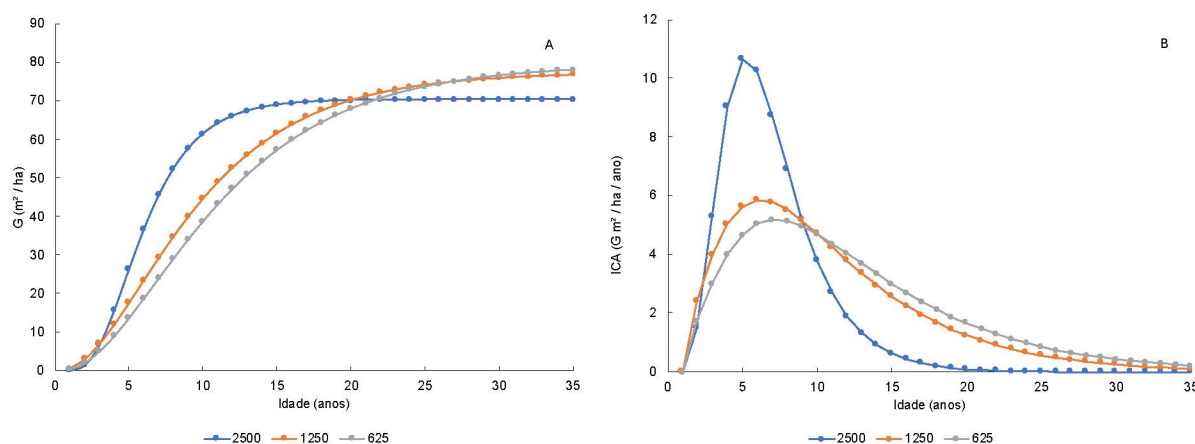


Onde: A= Tratamento 2500; B= Tratamento 1250; C= Tratamento 625.

FONTE: O autor (2021)

Aplicou-se o modelo de Chapman-Richards para a variável área basal e idade, e para o incremento corrente anual (ICA) e idade (Figura 3).

FIGURA 3 - CRESCIMENTO E ICA AJUSTADOS DA ÁREA BASAL EM FUNÇÃO DE DENSIDADE DE PLANTIO OBTIDO EM EXPERIMENTOS DE *Pinus taeda* NA REGIÃO SUL DE SANTA CATARINA.



Fonte: O autor (2021).

Conforme os resultados obtidos na análise de variância (Tabela 2) os três tratamentos apresentaram diferença significativa no crescimento em diferentes idades. Até os 15 anos, o tratamento 2500 possuía área basal superior às demais. A partir dos 20 anos, as três densidades foram semelhantes com aproximadamente 70  $m^2/ha$ . A partir desta idade ocorrem alterações e, aos 35 anos, o tratamento 625 apresentou o maior valor (78  $m^2/ha$ ), seguido do tratamento 1250 (77  $m^2/ha$ ) e, por último, o tratamento com 2500 com área basal de 70  $m^2/ha$  (Figura 3A).

Ao comparar o Incremento Corrente Anual (ICA) dos tratamentos (Figura 3B), o tratamento 2500 apresenta o maior incremento inicial em área basal e a maior redução de incremento ao longo dos 35 anos dos plantios.

Ao estipular que variações de incremento menores que 1  $m^2/ha/ano$  caracterizam estagnação, o tratamento 2500 apresenta estagnação de incremento a partir dos 14 anos, o 1250 aos 22 anos, e o tratamento 625 obteve incremento até os 24 anos, e, embora cada vez menores, resultou em maior incremento final.

Constata-se, portanto que, nas densidades de plantio de 1250 árv/ha e 625 árv/ha, os indivíduos foram capazes de ocupar mais eficientemente o espaço produtivo, e apresentaram valores máximos de área basal semelhantes entre si e superiores ao obtido na densidade de 2.500 árv/ha. Para ciclos curtos, de até 15 anos, a maior área basal foi observada no tratamento 2500. Mas, no longo prazo (>20 anos), os tratamentos 1250 e 625 conseguem acumular maior área basal por hectare.

O comportamento inicial da área basal apresentado neste estudo (Figura 3) é comparado ao apresentado por Sanquetta et al. (2001), em um povoamento de *P.*

*taeda* aos 9 anos, em que o grau de ocupação do espaço produtivo é maior em povoamentos mais densos, pois o total está distribuído entre uma maior quantidade de indivíduos com menores diâmetros. Devido a isso, o tratamento 2500 atingiu primeiro o valor máximo de área basal, que ocorreu aos 15 anos, e para os tratamentos 1250 e 625, ainda não atingiu o valor médio máximo de área basal.

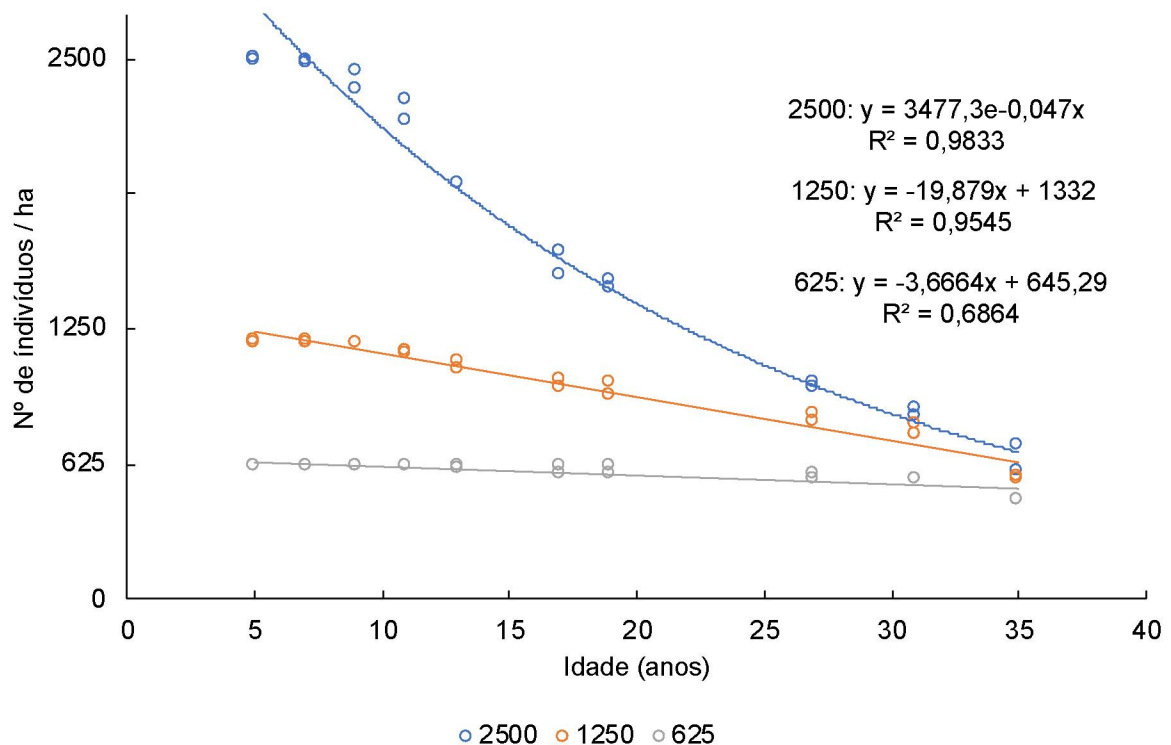
Schneider et al. (2013), em estudo com seis densidades de plantio de *P. taeda*, identificaram que todos os tratamentos aos 18 anos possuíam o valor máximo de área basal de 78 m<sup>2</sup>/ha, porém quanto mais denso o povoamento, mais cedo atingiu esse valor de área basal.

Schneider et al. (2018) descrevem que a máxima produção do povoamento é limitada pela densidade inicial, em que inicialmente maior quantidade de árvores acarreta em maior área basal, porém ao iniciar a competição dentro do povoamento, a mortalidade causa a manutenção e até a redução dessa área basal. Após esse início, povoamentos mais densos atingem produções totais menores, conforme observado no tratamento 2500, que após atingir sua produção máxima, houve estagnação da área basal. Ainda, segundo os autores, tal fato ocorre devido a mortalidade por competição resultante da disputa por água, luz, nutrientes e espaço para desenvolvimento.

Albaugh et al. (2006), em estudo com diferentes intensidades de fertilização e irrigação de povoamentos de *P. taeda*, associaram que árvores com maior copa e folhagem possuem maior incremento no tronco. Este fato pode ser associado ao comportamento do tratamento com menor densidade deste estudo, pois possibilitou maior espaço para desenvolvimento de copa e retardo da competição.

A diminuição da densidade por desbaste natural (Figura 4) aos 35 anos foi de cerca de 72%, 44% e 16% respectivamente para a maior até a menor densidade. Aos 35 anos os tratamentos com densidade de plantio de 2500, 1250 e 625 apresentaram redução para cerca de 700, 700 e 525 indivíduos por hectare, respectivamente.

**FIGURA 4 - RELAÇÃO DO NÚMERO DE INDIVÍDUOS, CURVAS DE TENDÊNCIA E EQUAÇÕES EM FUNÇÃO DE DIFERENTES IDADES E DENSIDADES PARA EXPERIMENTOS DE *Pinus taeda* NA REGIÃO SUL DE SANTA CATARINA.**



Fonte: O autor (2021).

A maior redução natural na densidade de indivíduos ao longo do tempo foi no tratamento mais denso (Figura 4). Este comportamento é explicado por Yoda et al. (1963), citado por Schneider (2013), ao descrever o autodesbaste e seu início, que ocorre em diferentes idades e possui relação direta com a densidade. Também foi constatado que quanto mais tardio o início do autodesbaste, maior será o incremento em diâmetro do povoamento (SCHNEIDER et al., 2013; MARANGON et al., 2017), e que corroboram os resultados apresentados neste estudo em que o tratamento 2500 apresentou maior redução da sobrevivência no intervalo de 5 a 9 anos. Este fato está de acordo com o estudo realizado por Harrington (2000) que verificou que a mortalidade desta espécie devido a densidade apresenta início quando se atinge 50 a 55% da densidade máxima.

Observa-se também a tendência de aproximação do número de indivíduos por hectare, em função do aumento da idade. Este comportamento pode ser comparado com estudo realizado por Samuelson et al. (2010), com quatro densidades de *Pinus taeda* localizado no Havaí, em que o tratamento com a maior densidade (3000 indivíduos/ha) apresentou alta redução de indivíduos, e o tratamento com menor densidade (750 indivíduos/ha) apresentou baixa redução, e,

aos 47 anos de idade os dois apresentavam ~1.000 e ~500 indivíduos por ha, respectivamente.

Outro fator a ser considerado para explicar a menor taxa de sobrevivência em povoamentos mais densos é a qualidade do sítio. Machado (1979), ao analisar em conjunto a densidade inicial, a taxa de sobrevivência e a qualidade de sítio em plantios de *Pinus taeda*, identificou que a competição ocorre mais cedo em sítios mais produtivos, pois as árvores se desenvolvem mais rapidamente e iniciam a competição, acarretando também na aceleração do início da mortalidade. De acordo com a classificação recente feita por Schuchovski et al. (2019), os três tratamentos deste estudo se encontram na classe I de sítio ( $h_{dom}$  aos 35 anos entre 32,66 - 36,14 m) com potencial de crescimento excelente, o que pode explicar a expressiva mortalidade que ocorreu mais cedo no tratamento 2500 no intervalo do 9º ao 13º ano, logo em seguida do intervalo de maior incremento em área basal. O que corrobora com as pesquisas de Tang et al. (1995), ao complementar os estudos do autodesbaste, afirma que seu início ocorre antes do povoamento alcançar a máxima densidade, e a taxa de autodesbaste é correlacionada com a densidade, e povoamentos de densidade máxima apresentam maior valor desta taxa.

O comportamento do número de indivíduos das 3 densidades por idade (Figura 4) pode ser explicado pela estreita relação entre a área basal e a densidade dos povoamentos (SCHNEIDER, 2013). Como os tratamentos 1250 e 625 apresentaram maior redução da sobrevivência nas idades mais avançadas, ocorreu a queda da produção, pois em povoamentos mais velhos as árvores remanescentes demoram mais para repor o volume das árvores que foram retiradas (ALVES, 1982), ou nesse caso, os indivíduos que sobreviveram. Com a mortalidade ao longo dos anos, pela competição intraespecífica, há a redução da área basal mais acentuada nos povoamentos mais densos.

## 2.4 CONCLUSÕES

Ao considerar as características deste estudo, em povoamentos de *P. taeda* ao longo de 35 anos, em regime *pulpwood* foi possível concluir:

- Para a densidade de 2500 árvores/ha a estagnação do crescimento ocorreu aos 15 anos, com área basal de 70 m<sup>2</sup>/ha.

- A área basal máxima nos tratamentos de 1250 e 625 foi de 77 e 78 m<sup>2</sup>/ha, respectivamente, e ocorreu aos 35 anos. Nesta idade, ainda não ocorreu a estagnação total do crescimento.
- Quanto maior a densidade de plantio, menor a área basal máxima, aos 35 anos.
- Para rotações de ciclo curto (até 15 anos), povoamentos com 2.500 indivíduos por hectare apresentam maior área basal.
- Para rotações de ciclo médio a longo (> 20 anos), povoamentos com 1.250 e 625 indivíduos por hectare apresentam maior eficiência de ocupação do espaço produtivo, com maior incremento final em área basal.



### **3 INFLUÊNCIA DO ESPAÇO VITAL NAS CARACTERÍSTICAS QUANTITATIVAS E QUALITATIVAS EM POVOAMENTOS DE *Pinus taeda* COM 35 ANOS DE IDADE**

#### **3.1 INTRODUÇÃO**

Dentre as decisões a serem tomadas pelo silvicultor, a determinação da densidade do plantio, ou seja, o espaço vital (EV) para o desenvolvimento de cada indivíduo arbóreo está entre as variáveis que influenciam de forma direta na produção de madeira de qualidade (BERGER, 2000). Para esta decisão deve-se levar em consideração fatores importantes como as características da espécie, a forma de crescimento, seu desenvolvimento radicial, sua tolerância e adaptabilidade. Deve-se considerar também as características locais como, solo, fatores climáticos, oportunidade de mercado, técnicas silviculturais, maquinário, mão de obra disponível, entre outros (SANQUETTA et al., 2003b). Portanto, ao considerar todos esses fatores, deve-se optar por um espaço vital que proporcione máximo crescimento, com alta qualidade e baixo custo (CHIES, 2005).

Dos fatores influenciados pelo EV para se produzir madeira de qualidade, as medidas de diâmetro à altura do peito (dap) e altura dos indivíduos são as mais usuais para avaliar os resultados do plantio e para embasar as decisões de implantação e de condução de novos plantios. Existem uma gama de estudos que avaliam a média dessas variáveis em relação ao EV. Porém, existe uma carência de estudos que avaliam não só a média, mas o conjunto da distribuição destes dados em relação ao EV em idades mais avançadas, como a função de densidade de probabilidade (FDP), que possibilita informações mais detalhadas quanto à estrutura da floresta e a viabilizar o planejamento mais eficiente dos recursos existentes (DEBASTIANI et al., 2019). Outra maneira de acrescentar neste tema, é considerar a correlação do dap com a altura em plantios com idade mais avançada, e analisar através da estatística multivariada. Desta forma é possível atingir observações que muitas vezes não ocorrem ao se utilizar a análise univariada, visto que uma análise com a coexistência destas variáveis pode permitir mais respostas sobre o efeito total dos tratamentos.

## 3.2 OBJETIVOS

### 3.2.1 Objetivo geral

Ao considerar estas lacunas deste tema, o objetivo deste trabalho foi avaliar a influência de espaços vitais de 4, 8 e 16 m<sup>2</sup> em relação ao dap, altura, sanidade e qualidade do fuste em plantios de *Pinus taeda* com 35 anos de idade.

### 3.2.2 Objetivos específicos

- Identificar se existe diferença entre as médias de diâmetro e de altura para os três tratamentos;
- testar funções de FDP para descrever a estrutura das variáveis dap e altura;
- Realizar análise multivariada e função discriminante para considerar as correlações das variáveis;
- Avaliar a sanidade e qualidade do fuste dos plantios;
- Identificar se existe diferença entre os tratamentos para os indivíduos dominantes.

## 3.3 MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi realizado em uma área experimental com plantios de *Pinus taeda* localizado no município de Campo Belo do Sul, planalto sul do estado de Santa Catarina, a aproximadamente 900 m de altitude. De acordo com a classificação de Köppen, o clima é do tipo Cfb, mesotérmico, subtropical úmido, com verões frescos, sem estação seca e com fortes geadas (ALVARES et al., 2013). A precipitação média anual é de 1555 mm e as temperaturas médias mensais variam de 11,5°C a 21,0°C (WREGE et al., 2012). Na região prevalecem nitossolos e cambissolos (DORTZBACH et al., 2016).

Os povoamentos foram implantados em 1984 com parcelas controle com diferentes densidades para avaliar o desenvolvimento sem interferências. Para o preparo, foi realizado queima da vegetação campestre e gradeamento do solo. Utilizou-se mudas de raiz nua com 6 meses de idade. Foram efetuados tratos culturais e controle de formigas nos três primeiros anos após o plantio. Não foram realizadas podas.

O experimento deste estudo foi implantado em duas repetições, com três densidades de plantio definidas como 2500, 1250 e 625 (Tabela 4). Cada parcela possui uma área de ~2000 m<sup>2</sup>. As medições foram realizadas na parte central da parcela, com área útil de ~1000 m<sup>2</sup>. Os dados foram coletados em 2019, quando o povoamento estava com 35 anos de idade. Neste ano, a parcela 2 do tratamento com menor densidade já havia sido submetida ao corte raso, portanto somente uma repetição foi coletada deste tratamento. Foram coletados os diâmetros à altura do peito (dap, 1,3 m) com auxílio de fita diamétrica, altura total (Ht) com equipamento Vertex<sup>®</sup>, coletadas e classificadas em valores de 1 a 3 para a situação de sanidade da árvore (SA) e a qualidade do fuste, adaptado de acordo com as recomendações do Serviço Florestal Brasileiro e desconsiderando as árvores mortas em pé (Tabela 5).

TABELA 4 – INFORMAÇÕES E CARACTERÍSTICAS DOS TRATAMENTOS

Tratamento	Densidade inicial (árv/ha)	Espaçamento (m)	Nº árvores mensuradas
2500	2500	2,5 x 1,6 m	131 (2 repetições)
1250	1250	2,5 x 3,2 m	117 (2 repetições)
625	625	5,0 x 3,2 m	52 (1 repetição)

Fonte: O autor (2021).

Quanto aos critérios utilizados para a classificação da sanidade da árvore, foi adotado como estágio inicial deterioração, ou classe 2 (Figura 5), o comprometimento de até 30% do fuste ou copa. Acima desse valor a árvore foi classificada em estágio avançado, ou classe 3. Para as classificações de qualidade do fuste (Figura 6), foi considerado na classe 1, fuste sem defeitos, as árvores com galhos somente próximos da copa. Para a classe 2, foi considerado ramificações de 10 a 30% da árvore, porém com bom proveito do fuste comercial.

TABELA 5 - CLASSIFICAÇÃO DE SANIDADE DA ÁRVORE E QUALIDADE DO FUSTE

Sanidade da árvore (SA)	Qualidade do fuste (QF)
1 - Sadia ou assintomática	1 - Fuste sem defeitos aparentes
2 - Estágio inicial de deterioração por pragas e/ou doenças	2 - Fuste ligeiramente torto, porém cilíndrico e desprovido de ramificações consideráveis até 30%
3 - Estágio avançado de deterioração por pragas e/ou doenças no fuste comercial	3 - Fuste com forte tortuosidade ou bifurcação

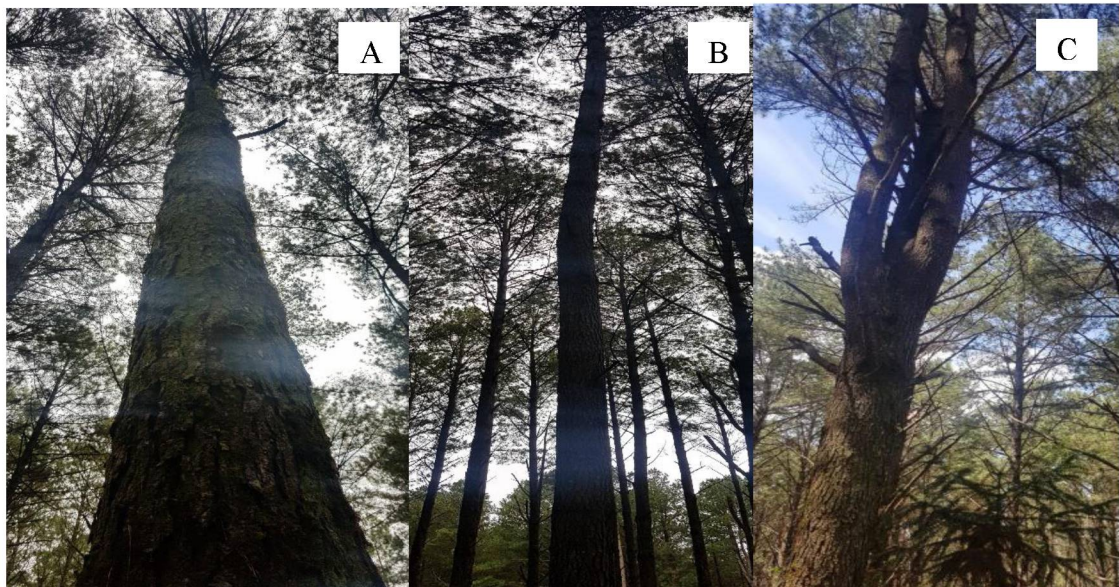
FONTE: O autor (2021).

FIGURA 5 - ÁRVORE DE *P. taeda* EM ESTÁGIO INICIAL DE DETERIORAÇÃO POR PRAGAS E OU DOENÇAS AOS 35 ANOS.



FONTE: O AUTOR (2021)

FIGURA 6 – CLASSIFICAÇÃO DA QUALIDADE DO FUSTE PARA INDIVÍDUOS DE *P. taeda* AOS 35 ANOS



Onde: A= indivíduo apresenta fuste sem defeitos aparentes com classificação 1; B= Indivíduo apresenta fuste ligeiramente torto, porém cilíndrico e desprovido de ramificações consideráveis com classificação 2; C= Indivíduo apresenta fuste com forte tortuosidade e bifurcação com classificação 3.

FONTE: O AUTOR (2021)

Para determinar o diâmetro (ddom) e altura dominante (hdom) utilizou-se o intervalo entre 100 árvores com maior diâmetro e maior altura respectivamente por hectare de cada tratamento. Como os tratamentos foram avaliados em área de 1000 m<sup>2</sup> utilizou-se as 10 árvores mais altas e as 10 árvores mais grossas.

Foi realizada a análise de variância para as variáveis dap e altura e constatada a significância, realizou-se o teste de Tukey para comparação das médias dos tratamentos. Para uma análise mais detalhada de distribuição dos dados, as variáveis dap e altura total (Ht) foram testadas separadamente nas seguintes funções de densidade de probabilidade (FDP) Gamma; Gamma (três parâmetros); Normal; Weibull; e Weibull (três parâmetros). Avaliou-se a habilidade das FDPs em descrever as características avaliadas do plantio. Foi selecionada a função probabilística que apresentou melhor desempenho avaliado pelo teste de Kolmogorov-Smirnov com nível de probabilidade de 99% para cada variável, realizadas no software *R*. Em seguida, foi realizada uma análise de regressão linear simples entre os tratamentos para estabelecer o coeficiente de determinação entre as médias. Após constatada a correlação, foram realizadas as análises multivariadas (MANOVA) e função discriminante para considerar as correlações entre as variáveis no software *SPSS*®. Os dados foram avaliados por estatística descritiva para descrever a forma da distribuição de frequências do dap e Ht em alta, média e baixa densidade.

Para as variáveis sanidade da árvore (SA) e qualidade do fuste (QF) foi comparada a ocorrência de cada característica através de porcentagem em planilha no software Excel® para os dados médios e para a altura dominante.

### 3.4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 3.4.1 Espaço vital inicial x espaço vital aos 35 anos

Devido principalmente à competição entre os indivíduos, mas também devido a outros fatores naturais que comumente acontecem em plantios, como descargas elétricas, ação animal, ventos fortes, entre outros, ocorreu o autodesbaste, e a densidade inicial do plantio foi reduzida ao final da rotação (Tabela 6).

TABELA 6- COMPARAÇÃO DA DENSIDADE E ESPAÇO VITAL (EV) DOS TRATAMENTOS DE *P. taeda* EM FASE INICIAL E AOS 35 ANOS E SUA SOBREVIVÊNCIA LOCALIZADO NA REGIÃO SUL DE SANTA CATARINA

Tratamento	Densidade inicial (árv/ha)	EV inicial (m <sup>2</sup> )	Densidade final (árv/ha)	EV médio aos 35 anos (m <sup>2</sup> )	Sob(%)
2500	2500	4	655	15,3	26
1250	1250	8	550	18,2	44
625	625	16	450	22,2	72

Onde: Sob= Sobrevivência.

FONTE: O autor (2021).

Apesar da mortalidade não ocorrer de forma equitativamente distribuída na área, foi considerado a média do EV aos 35 anos para melhor entendimento da área média disponível para cada indivíduo. O tratamento 625 que iniciou com  $\frac{1}{4}$  dos indivíduos, comparado ao tratamento 2500, apresentou sobrevivência de aproximadamente 2,7 vezes superior. Harms et al. (2000), em estudo no Havaí com a mesma espécie e sem desbastes, aos 34 anos, identificaram 53%, 81%, 85% e 97% de sobrevivência para tratamentos com 3,2 m<sup>2</sup>, 5,8 m<sup>2</sup>, 9 m<sup>2</sup> e 13,7 m<sup>2</sup> de EV respectivamente, também foi observado que o fechamento do dossel ocorreu no 4º ano para o tratamento com menor EV, e somente no 11º ano para o tratamento com maior EV, o que resultou em menor quantidade de indivíduos suprimidos e menor competição por luz conforme o aumento do EV. Estes resultados são semelhantes aos encontrados neste estudo e auxiliam as explicações das demais características estudadas do plantio de *P. taeda* aos 35 anos localizados no sul de Santa Catarina.

#### 3.4.2 Altura total

O espaço vital não apresentou relação com as alturas médias dos três tratamentos. Apesar da altura média aumentar conforme o aumento do EV (Tabela 7), as médias dos tratamentos 2500 e 625 não apresentaram diferença estatística ao nível de 5% de significância pelo teste de Tukey (Tabela 8).

TABELA 7 - ESTATÍSTICA DESCRITIVA DA ALTURA EM EXPERIMENTO DE *P. taeda* AOS 35 ANOS COM TRÊS DENSIDADES DE PLANTIO

Altura (m)	Densidade		
	2500	1250	625
Média	35,7	34,1	36,4
Erro-padrão	0,3	0,3	0,4
Mediana	35,5	34,5	37,0



Moda	35,4	36,8	38,0
Desvio-padrão	3,3	3,4	2,7
Variância da amostra	10,6	11,7	7,5
Curtose	0,7	0,1	0,9
Assimetria	-0,3	-0,5	-0,9
Intervalo	19,0	17,7	13,0
Mínimo	24,7	24,5	28,5
Máximo	43,7	42,2	41,5

FONTE: O autor (2021).

TABELA 8 – TESTE DE COMPARAÇÃO DE MÉDIAS DE DAP PARA TRÊS DENSIDADES DE PLANTIO EM EXPERIMENTO DE *P. taeda* AOS 35 ANOS

Tratamento	Média
2500	35,7 <sup>a</sup>
1250	34,1 <sup>b</sup>
625	36,4 <sup>a</sup>

Médias seguidas de mesma letra não apresentam diferença estatística ao nível de 5% de significância pelo teste de Tukey.

FONTE: O autor (2021).

TABELA 9 - ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA VARIÁVEL ALTURA EM EXPERIMENTO DE *P. taeda* AOS 35 ANOS COM TRÊS DENSIDADES

Fonte de variação	G.L.	Q.M.
Tratamentos	2	120,17**
Resíduos	297	10,48
Total	299	

Onde: G.L.= Grau de liberdade; Q.M.= quadrado médio

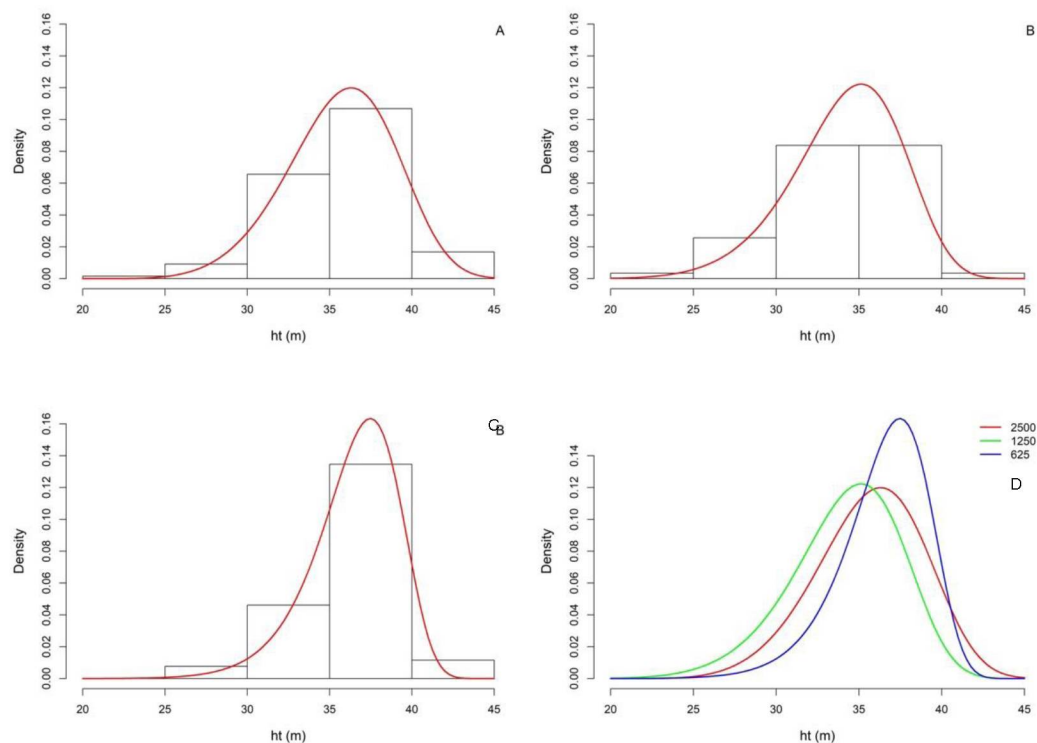
FONTE: O autor (2021).

O intervalo com maior frequência na altura em metros foi próximo para os três tratamentos. Porém, ao considerar a amplitude total, o tratamento 625 apresentou menor valor, o que resulta em maior homogeneidade dos indivíduos.

Resultado diferente foi encontrado por Inoue et al. (2011), em que aos 7 anos de idade menores espaçamentos resultaram em maior crescimento em altura média para *Pinus taeda*. Tal fato pode ser explicado pela teoria, desenvolvida por Binkley (2004), em que a curva de dominância declina após certa idade de um povoamento. Deve-se também levar em consideração que a idade do plantio já é considerada elevada para os padrões de produção brasileiros, portanto já ocorreu o pico do autodesbaste por competição, com mortalidade principalmente das árvores dos estratos inferiores, havendo estagnação do crescimento em altura. Leite et al.

(2006), em estudo com diferentes densidades de *Pinus taeda* localizado em Santa Catarina concluíram que o EV desempenha pouco efeito sobre as estimativas de altura aos 14 anos, e espaçamentos maiores tendem a apresentar estagnação de crescimento em altura aos 11 anos. Cardoso et al. (2013) e Harms et al. (2000) também não encontraram diferença estatística na altura média para tratamentos com diferentes espaços vitais aos 24 e 34 anos respectivamente, dados que assemelham com os resultados deste estudo.

FIGURA 7 - DISTRIBUIÇÃO E HISTOGRAMA DE FREQUÊNCIA DA ALTURA DE UM PLANTIO DE *Pinus taeda* AOS 35 ANOS DE IDADE COM TRÊS DENSIDADES.



Onde: A: tratamento 2500; B: Tratamento 1250; C: Tratamento 625; D: Curvas de distribuição de probabilidade dos tratamentos 2500, 1250 e 625.

FONTE: O autor (2021).

A distribuição de probabilidade que apresentou melhor ajuste ao conjunto de dados de altura foi a Weibull (3P) (Tabela 10). Ao considerar a distribuição das alturas, é possível identificar diferenças entre os 3 tratamentos. Houve aumento da assimetria com o aumento do EV, todos os tratamentos apresentaram curva com calda para a esquerda, que gerou assimetria negativa de -0,3, -0,5, e -0,9 para os tratamentos 2500, 1250 e 625 respectivamente, o que indica que o aumento do



espaço vital proporciona maior quantidade de indivíduos com altura acima da média, em que o 625 se destaca por apresentar a assimetria mais forte. Fato este ilustrado na figura 7D, em que é possível identificar o deslocamento das curvas para a direita conforme aumentou o espaço vital.

TABELA 10 - FUNÇÕES DE DISTRIBUIÇÃO UTILIZADAS E TESTE DE ADERÊNCIA PARA ALTURA DE *P. taeda* AOS 35 ANOS.

Tratamento	Distribuição	Parâmetros	Kolmogorov Smirnov
2500	Weibull (3P)	$\alpha = 5,261395$ $\beta = 16,449387$ $\gamma = 20,506708$	0,0304
1250	Weibull (3P)	$\alpha = 7,626977$ $\beta = 23,146856$ $\gamma = 12,407796$	0,0454
625	Weibull (3P)	$\alpha = 16,3716580$ $\beta = 36,9298458$ $\gamma = 0,6873907$	0,0966

FONTE: O autor (2021).

Ao comparar os três tratamentos, o tratamento 1250 apresentou a maior quantidade (11%) de indivíduos localizados nas classes de menor altura [24 a 30 m) e [30 a 35 m) (45%) (Tabela 11). Ao considerar os dois intervalos de [35 - 50 m], o tratamento 2500 apresentou 60% dos indivíduos entre esses intervalos, já o 625 apresentou 74%. Ao comparar as frequências para a classe de altura dominante (Hdom) obtidas através do intervalo das 100 árvores mais altas por hectare, os tratamentos apresentaram valores crescentes, com o tratamento 625 com maior quantidade (21%), dos seus indivíduos localizados na classe de altura dominante (38,6 a 41,5 m). Tais resultados podem estar associados ao maior EV disponível neste tratamento que proporcionou mais luz aos indivíduos, diminuindo assim a supressão e acarretando indivíduos com alturas mais uniformes.

TABELA 11 - FREQUÊNCIA POR CLASSE DE ALTURA PARA *P. taeda* AOS 35 ANOS NA REGIÃO SUL DE SANTA CATARINA

Altura (m)	Frequência por classe de altura (%)		
	2500	1250	625
[24-30)	5,3	11	2,2
[30-35)	34,7	45	25,6
[35-40)	51,1	42	67,8
[40-50]	8,7	2	6,2
Hdom 2500 (39-43,7)	15,5	-	-
Hdom 1250 (37,3-42,2)	-	17,4	-
Hdom 625 (38,6-41,5)	-	-	20,9

FONTE: O autor (2021).

### 3.4.3 Dap

As árvores obtiveram valores crescentes de dap médio conforme o aumento do EV (Tabela 12), e as médias dos tratamentos diferiram entre si ao nível de 5% de significância (Tabela 13).

TABELA 12 - ESTATÍSTICA DESCRITIVA DO DAP EM EXPERIMENTO DE *P. taeda* AOS 35 ANOS COM TRÊS DENSIDADES DE PLANTIO

Dap (cm)	Densidade		
	2500	1250	625
Média	35,5	38,6	45,6
Erro-padrão	0,6	0,6	1,0
Mediana	34,3	37,5	46,3
Moda	28,0	38,2	47,0
Desvio-padrão	6,9	6,4	7,4
Variância da amostra	47,1	40,5	54,2
Curtose	0,3	0,2	0,8
Assimetria	0,7	0,6	0,1
Mínimo	21,6	26,4	31,2
Máximo	57,0	56,5	65,0

FONTE: O autor (2021).

TABELA 13 – TESTE DE COMPARAÇÃO DE MÉDIAS DE DAP PARA TRÊS DENSIDADES DE PLANTIO EM EXPERIMENTO DE *P. taeda* AOS 35 ANOS

Tratamento	Média
2500	35,5 <sup>a</sup>
1250	38,6 <sup>b</sup>
625	45,6 <sup>c</sup>

Médias seguidas de mesma letra não apresentam diferença estatística ao nível de 5% de significância pelo teste de *Tukey*.

FONTE: O autor (2021).

TABELA 14 - ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA VARIÁVEL DAP EM EXPERIMENTO DE *P. taeda* AOS 35 ANOS COM TRÊS DENSIDADES

Fonte de variação	G.L.	Q.M.
Tratamentos	2	1876.359**
Resíduos	297	45.71**
Total	299	

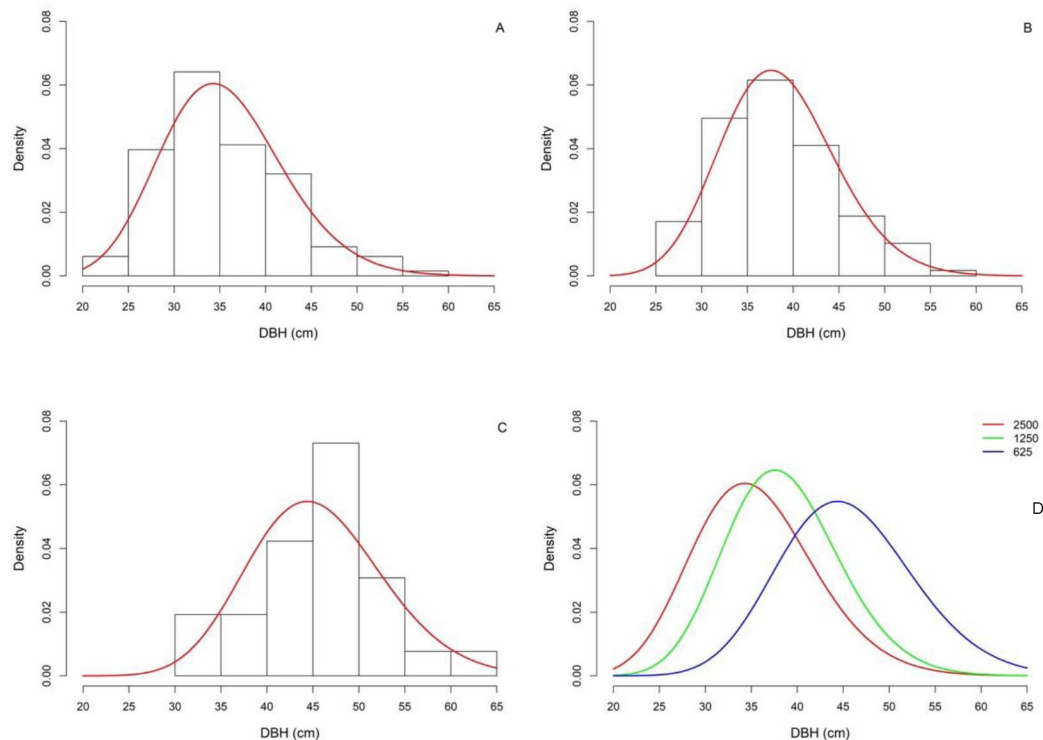
Onde: G.L.= Grau de liberdade; Q.M.= quadrado médio;

FONTE: O autor (2021).

O tratamento de maior densidade apresentou classes de dap entre 20 a 60 cm. O tratamento com densidade 1250 apresentou classes de dap de 25 a 60 cm. Para o tratamento de densidade 625 foram obtidas classes de 30 a 65 cm de dap (Figura 8). Samuelson et al. (2010) em estudo com *P. taeda* aos 47 anos no Havaí também encontraram maior frequência nas classes de maior valor de dap, conforme o aumento do EV que variou de 1,8 m<sup>2</sup> a 3,7 m<sup>2</sup>.

É possível afirmar que aos 35 anos o EV inicial de 4 m<sup>2</sup>, 8 m<sup>2</sup> e 16 m<sup>2</sup> apresentam interferência no dap médio, com 28,3% a mais de crescimento para o maior EV ao comparar com o menor espaço. Diferente do apresentado por Inoue et al. (2011), em experimento localizado no Paraná com *Pinus taeda* aos 7 anos de idade em que espaços vitais superiores a 12 m<sup>2</sup> não apresentaram influência no crescimento de dap médio. Esta diferença se deve à idade de avaliação do estudo, pois aos 7 anos a demanda por espaço de crescimento das árvores ainda é pequena e aumenta com o passar dos anos. Ao comparar os resultados deste trabalho com estudos de *P. taeda* em idades mais avançadas, Cardoso et al. (2013) identificaram uma diferença de 18% maior de dap para EV de 11 m<sup>2</sup> comparado ao tratamento com 3 m<sup>2</sup> aos 24 anos em experimento localizado no estado do Paraná. Já aos 34 anos, Harms et al. (2000) encontraram um crescimento de 32,6% maior no dap para EV de 13,7 m<sup>2</sup> comparado ao tratamento com 3,2 m<sup>2</sup>. Diversos estudos apresentaram resultados próximos ao encontrados, em que maior disponibilidade de espaço propicia um maior desenvolvimento de dap (ASSMANN, 1970; LEITE et al., 2006).

FIGURA 8 - DISTRIBUIÇÃO E HISTOGRAMA DE FREQUÊNCIA DE DAP DE UM PLANTIO DE *Pinus taeda* AOS 35 ANOS DE IDADE



Em que: A: tratamento 2500; B: Tratamento 1250; C: Tratamento 625; D: Curvas de distribuição de probabilidade dos tratamentos 2500, 1250 e 625.

FONTE: O autor (2021).

A distribuição de probabilidade que apresentou melhor ajuste ao conjunto de dados de dap foi a Gamma (Tabela 15). Os três tratamentos apresentaram assimetria positiva para os dados de dap, porém, conforme o aumento do EV, ocorreu a redução no valor de assimetria, com o tratamento 625 se aproximando da simetria, o que caracteriza este tratamento como mais homogêneo, com a quantidade semelhante de indivíduos inferiores e superiores à média. Os três tratamentos apresentaram curvas leptocúrticas, com pico alto.

TABELA 15 - FUNÇÕES DE DISTRIBUIÇÃO UTILIZADAS E TESTE DE ADERÊNCIA PARA DAP DE *P. taeda* AOS 35 ANOS

Tratamento	Distribuição	Parâmetros	Kolmogorov Smirnov
2500	Gamma	$\alpha=28,1735001$ $\beta=0,7927675$	0,0644
1250	Gamma	$\alpha=38,2795913$ $\beta=0,9919629$	0,0512
625	Gamma	$\alpha=38,3480528$ $\beta=0,8414325$	0,1036

FONTE: O autor (2021).

Os tratamentos 2500 e 1250 apresentaram maior quantidade de indivíduos (75% e 61% respectivamente) no intervalo de [20 a 40 cm) de dap. Enquanto para o tratamento 625 resultou em 74% da área da curva localizada entre 40 - 60 cm para dap. Observa-se uma tendência invertida em função da densidade, o que aumenta a frequência nas classes superiores para baixa densidade e diminui para alta densidade, com valores intermediários para média densidade.

As menores densidades apresentaram maior quantidade de indivíduos na classe dominante, para diâmetro (Ddom). Com frequência de 19,6% para o tratamento 625, 17% para o tratamento 1250 e 13% para o tratamento 2500.

TABELA 16 - FREQUÊNCIA POR CLASSE DE DIÂMETRO PARA *P. taeda* AOS 35 ANOS EM SANTA CATARINA SOB TRÊS DENSIDADES DE PLANTIO

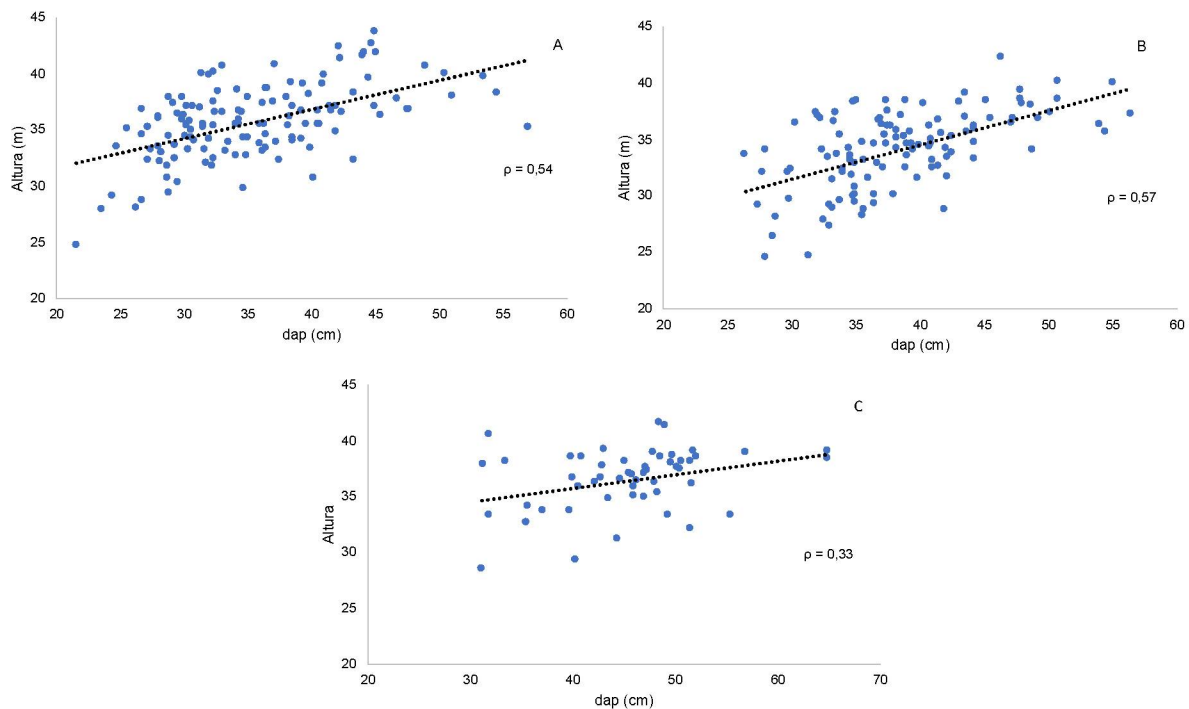
dap (cm)	Frequência por classe de diâmetro (%)		
	2500	1250	625
[0-20)	0,4	0	0
[20-40)	75	60,7	23
[40-60)	24,4	39	73,6
Ddom 2500 (42,4-57)	12,8	-	-
Ddom 1250 (44,3-56,5)	-	17,5	-
Ddom 625 (51,5-65)	-	-	19,6

FONTE: O autor (2021).

#### 3.4.4 Correlação altura x dap

Ao analisar a relação entre as variáveis altura e dap, os tratamentos 2500 e 1250 apresentaram coeficiente de correlação de *Pearson* moderado (0,54 e 0,57), já o tratamento 625 apresentou correlação fraca (0,33) (Figura 9).

FIGURA 9 - ALTURA, CURVAS DE TENDÊNCIA E CORRELAÇÕES EM FUNÇÃO DO DAP EM DIFERENTES DENSIDADES PARA EXPERIMENTO DE *P. taeda* NA REGIÃO SUL DE SANTA CATARINA.



Onde: A: tratamento 2500; B: Tratamento 1250; C: Tratamento 625; D: Curvas de distribuição de probabilidade dos tratamentos 2500, 1250 e 625.

FONTE: O autor (2021).

Os resultados das correlações entre moderada e fraca podem ser relacionados à idade do plantio. Dias et al. (2016) e Lima (2010) em estudo com *P. taeda* identificaram a redução da correlação entre altura x dap com o aumento da idade do plantio. A fraca correlação apresentada pelo tratamento 625 pode ser explicada pela maior disponibilidade de luz nos indivíduos, que favorece o maior incremento diamétrico, e uma menor necessidade de desenvolver altura para buscar por luz nos primeiros anos do plantio (INOUE et al., 2011).

Apesar de não serem altas, existe correlação entre altura e DAP, portanto é apropriado aplicar a análise multivariada. Dado que essas variáveis possuem uma relação, é importante que no momento de discriminar os tratamentos, essa correlação também seja levada em consideração, e uma forma disso, é a análise de discriminantes. Ao analisar os dados através de MANOVA, foi identificado diferença significativa entre os grupos (Tabela 17).

TABELA 17 - RESULTADOS DE ANÁLISE MULTIVARIADA PARA OS TRATAMENTOS DE ALTA, MÉDIA E BAIXA DENSIDADE COM AS VARIÁVEIS DAP E ALTURA DE EXPERIMENTOS DE *P. taeda* LOCALIZADOS NA REGIÃO SUL DE SANTA CATARINA

Efeito		Valor	F	gl de hipótese	Erro gl	Sig.
Espaçamento	Traço de Pillai	0.330	29.320	4	594	<0.001
	Lambda de Wilks	0.689	30.335	4	592	<0.001
	Traço de Hotelling	0.425	31.349	4	590	<0.001
	Maior raiz de Roy	0.348	51.652	2	297	<0.001

Fonte: O autor (2021).

Os quatro testes aplicados indicaram que a hipótese da nulidade é falsa, ou seja, o espaçamento possui efeito sobre as médias das variáveis dap e altura.

TABELA 18 - CORRELAÇÕES ENTRE GRUPOS NO CONJUNTO ENTRE VARIÁVEIS DISCRIMINANTES E FUNÇÕES DISCRIMINANTES CANÔNICAS PADRONIZADAS

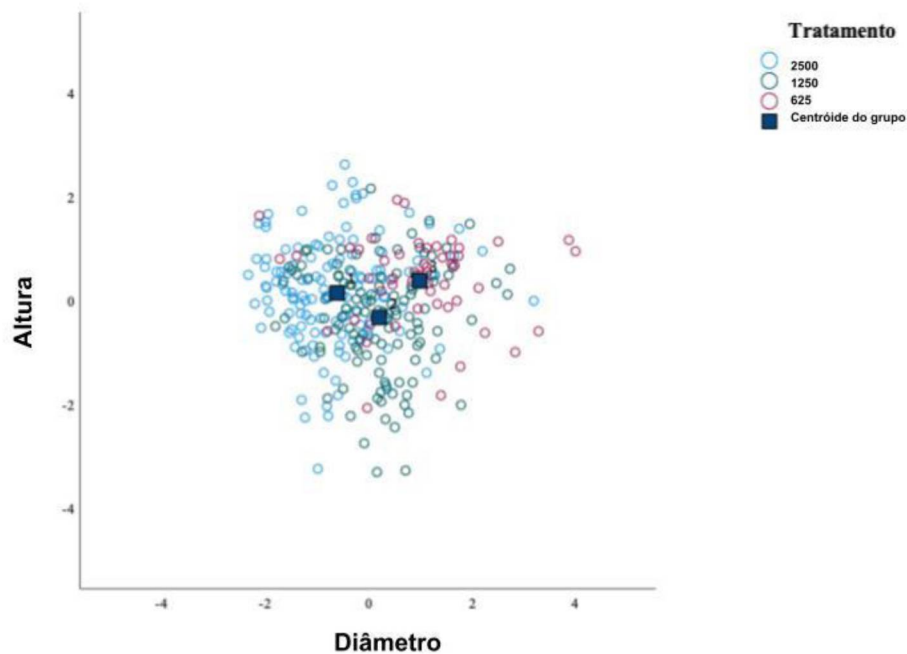
Matriz de estruturas		
Função	1	2
Dap	0.858*	0.514
Altura	0.001	1.000*

\* Maior correlação absoluta entre cada variável e qualquer função discriminante

FONTE: O autor (2021).

A variável mais importante na função discriminante 1 foi o dap, e na função 2, altura (Tabela 18). Portanto, a variável que mais discrimina os espaçamentos é o dap. Este resultado está associado a competição intraespecífica que aumenta conforme é reduzido o espaço disponível para o desenvolvimento dos indivíduos, que ocorre de forma mais intensa nos primeiros anos dos plantios. Conforme Inoue et al. (2011) os valores médios de dap aos 7 anos para *P. taeda* são diretamente crescentes com o aumento do espaço vital. Ou seja, menores espaços vitais limitam o crescimento diametral médio e individual.

FIGURA 10 - FUNÇÕES DISCRIMINANTES CANÔNICAS DE DIFERENTES DENSIDADES DE *P. taeda* AOS 35 ANOS.



FONTE: O autor (2021).

O tratamento 625 apresentou os maiores valores para dap (eixo x) e altura (eixo y) ao considerar a correlação entre elas, já o tratamento que apresentou os menores valores para as duas variáveis em conjunto foi o 1250 (Figura 10).

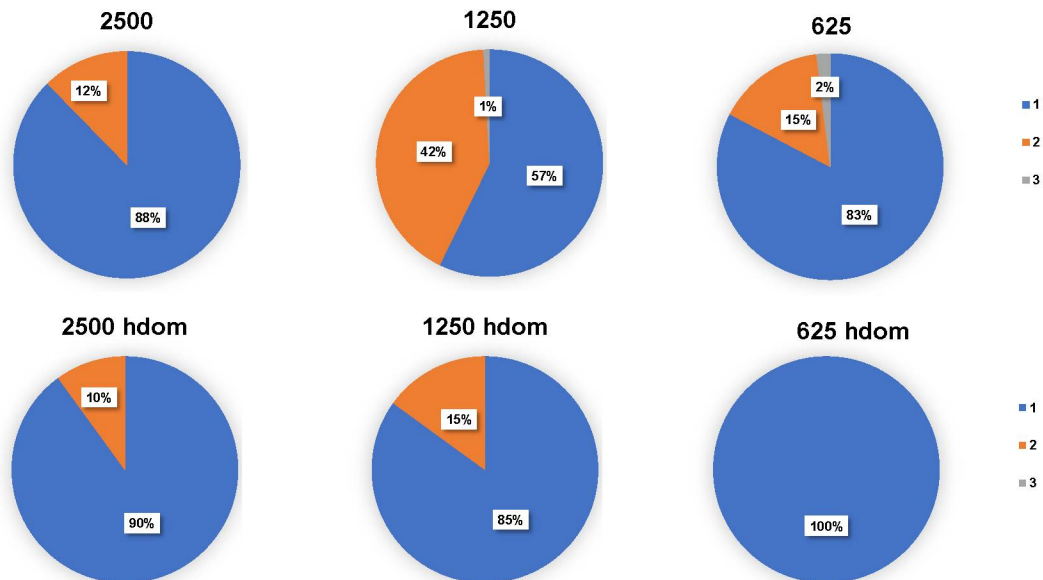
#### 3.4.5 Sanidade

Ao avaliar a qualidade fitossanitária (Figura 11), os tratamentos 2500 e 625 apresentaram valores próximos, com 88% e 83% de indivíduos classificados como saudáveis e sem danos aparentes, respectivamente. O tratamento de 1250 apresentou 42% dos indivíduos com estágio inicial de deterioração, o que foi avaliado ser um fato isolado de ataque na área do tratamento. Foi identificada a presença de vespa-da-madeira cuja ação resulta em exsudações e danos na casca apenas em uma repetição deste tratamento, o que aparenta a não relação com o espaçamento. Os indivíduos classificados com altura dominante apresentaram sanidade superior quando comparados com os dados totais, com destaque para o tratamento 1250, que a incidência de indivíduos em estágio inicial de deterioração foi de apenas 15%, e não apresentou indivíduos com estágio avançado de deterioração. De acordo com Gaiad (2001), ataques de *Sirex noctilio* (vespa-da-madeira) ocorrem de forma mais intensa em povoamentos mais densos de pinus, com ataque iniciando em indivíduos de diâmetros menores. Assim, no tratamento



com menor densidade a incidência da vespa foi menor em conformidade ao relatado por Gaiad (2001).

FIGURA 11 - CLASSIFICAÇÃO DE SANIDADE PARA *P. taeda* EM TRÊS DENSIDADES AOS 35 ANOS LOCALIZADOS NA REGIÃO SUL DE SANTA CATARINA.



Onde: 1 - Sadia, sem defeitos aparentes; 2 - Estágio inicial de deterioração por pragas e/ou doenças; 3 - Estágio avançado de deterioração por pragas e/ou doenças.

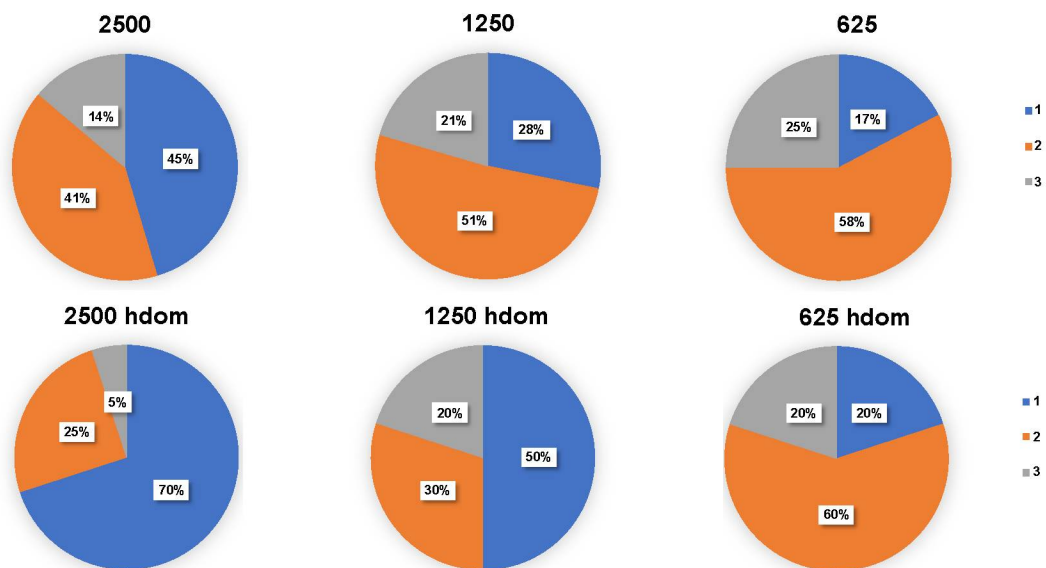
FONTE: O autor (2021).

#### 3.4.6 Qualidade do fuste

Para a avaliação da qualidade do fuste (Figura 12), os tratamentos apresentaram valores crescentes para a classificação 2 e 3 ao aumentar o EV. O tratamento 2500 apresentou 45% de indivíduos com fuste sadio e reto, já os tratamentos 1250 e 625 apresentaram 28% e 17% respectivamente de indivíduos na classificação 1. Apesar de considerar plantios com 12 anos de idade, Sanquetta et al. (2003a) em estudo com *P. taeda* em espaços vitais que variaram de 3 m<sup>2</sup> a 11 m<sup>2</sup> identificaram maior presença de galhos e menor altura de inserção dos primeiros galhos em povoamentos com menor densidade.

De acordo com Pelissari et al (2013), é devido as árvores propenderem seu crescimento à luz, e com aumento do EV gera maior incidência de luz nos indivíduos por um período maior até o fechamento do dossel, o que acarretou maior insolação na casca, gerou maior produção de galhos, bifurcações, e em consequência, reduziu o estímulo de crescimento retilíneo.

FIGURA 12 - CLASSIFICAÇÃO DE QUALIDADE DO FUSTE PARA *P. taeda* AOS 35 ANOS SOB TRÊS DENSIDADES LOCALIZADOS NA REGIÃO SUL DE SANTA CATARINA.



Onde: 1 - Fuste sem defeitos aparentes; 2 - Fuste ligeiramente torto, porém cilíndrico e desprovido de ramificações consideráveis; 3 - Fuste com forte tortuosidade ou bifurcação.

Hdom: Altura dominante

FONTE: O autor (2021).

Ao comparar os indivíduos com alturas dominantes, eles também apresentaram qualidade superior do fuste em relação aos indivíduos totais, principalmente para os tratamentos 2500 e 1250 que apresentaram resultados superiores com 70% e 50% respectivamente para a classificação de fustes retos e sem defeitos aparentes. Porém, ao comparar o tratamento 625, devido á diversos fatores que prejudicaram a forma ou causaram danos ou outras alterações, resultou em baixa qualidade do fuste em relação aos demais tratamentos, com incidência de 60% de indivíduos com leve tortuosidade, e 20% de incidência de bifurcações e ramificações acima de 30% do comprimento do fuste.

Como sugestões para pesquisas futuras, sugiro analisar economicamente os três tratamentos para melhor comparação.

### 3.5 CONCLUSÕES

Considerando as condições do experimento com *Pinus taeda* aos 35 anos localizados no sul de Santa Catarina, pode-se concluir:

- O espaço vital afeta diretamente o diâmetro médio.

- As funções Gamma e Weibull apresentam ajuste adequado para descrever as variáveis.
- Plantios com maior espaço vital maximizam as variáveis ao considerar em conjunto altura e dap.
- Plantios com menor espaço vital favorecem uma melhor qualidade de fuste.
- Os indivíduos dominantes em altura apresentam sanidade e qualidade de fuste superiores em relação aos demais.

## REFERÊNCIAS

- ALBAUGH, T. J.; ALLEN, H. L.; FOX, T. R. Individual tree crown and stand development in *Pinus taeda* under different fertilization and irrigation regimes. **Forest Ecology and Management**, v. 234, n. 1–3, p. 10–23, 2006.
- ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; DE MORAES GONÇALVES, J. L.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, n. 6, p. 711–728, 2013.
- ALVES, M. A. A. **Técnica de produção florestal: fundamentos, tipificação e métodos**. Lisboa: Instituto Nacional de Investigação Científica, 1982. 331p.
- ASSMANN, E. **The principles of forest yield study**. New York: Pergamon Press, 1970. 506p.
- BAILEY, R.L.; DELL, T.R. Quantifying diameters distributions with the Weibull functions. **Forest Science**, Washington, v.19, n.2, p.27-104, june, 1973.
- BALLONI, E. A.; SIMÕES, J. W. O espaçamento de plantio e suas implicações silviculturais. IPEF, Piracicaba, v.1, n. 3, p. 1-16, 1983
- BERGER, R. Crescimento e qualidade da madeira de um clone de *Eucalyptus saligna* Smitch sob o efeito do espaçamento e da fertilidade [dissertação]. Santa Maria: Universidade Federal de Santa Maria; 2000.
- BINKLEY, D. A hypothesis about the interaction of tree dominance and stand production through stand development. **Forest Ecology and Management**, v. 190, n. 2–3, p. 265–271, 2004.
- BOTELHO, S. A. Espaçamento. In: SCOLFORO, J. R. S. Manejo florestal. Lavras: UFLA/FAEPE, p. 381-406, 1998.
- CARDOSO, D. J.; LACERDA, A. E. B.; ROSOT, M. A. D.; GARRASTAZÚ, M. C.; LIMA, R. T. Influence of spacing regimes on the development of loblolly pine (*Pinus taeda* L.) in Southern Brazil. **Forest Ecology and Management**, v. 310, p. 761–769, 2013.
- CHIES, D. Influência do espaçamento sobre a qualidade e o rendimento da Madeira serrada de *Pinus taeda* L. [dissertação]. Curitiba: Universidade Federal do Paraná; 2005.
- DACOSTA, L. P. E. **Relações biométricas em povoamentos jovens de *Pinus taeda* L. na província de Corrientes, República da Argentina**. Santa Maria, 2008. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Santa Maria, RS, 2008.
- DEBASTIANI, A. B.; MARTINS, L. P.; SANTOS, K. S. M.; CORTE, A. P. D.; SANQUETTA, C. R.; Distribuição do diâmetro de copa e diâmetro quadrático de

*Araucaria angustifolia* e *Pinus taeda*. **Ciência Florestal**, v. 29, n. 1, p. 270–280, 2019. Universidade Federal de Santa Maria.

DIAS, P. C.; XAVIER, A.; RESENDE, M. D. V. DE.; BIERNASKI, F. A.; ESTOPA, R. A.; PIRES, I. E. Juvenile-mature genetic correlations in *Pinus taeda* clones propagated via somatic embryogenesis. **Revista Árvore**, v. 40, n. 2, p. 255–267, 2016.

DORTZBACH, D.; PEREIRA, M. G.; CUNHA DOS ANJOS L. H.; FONTANA, A.; SILVA E. D. C.; Genesis and classification of soils from subtropical mountain regions of Southern Brazil. **Rev. Bras. Cienc. Solo**, 40 (2016), p. e0150503

EMBRAPA FLORESTAS. Vespa-da-madeira. Folder. Colombo, 2011.

FORREST, W.G. A review of tree and stand growth in radiata pine plantations. Austrália: Forestry Commission of New South Wales, 1971.

GAIAD, D. C. M. Efeitos de desbastes em povoamentos de *pinus taeda* na ocorrência da vespa-da-madeira, *Sirex noctilio* f., 1792. Curitiba, 2001. 112f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba-PR, 2001.

GUIMARÃES, D. P. Desenvolvimento de um modelo de distribuição diamétrica de passo invariante para prognose e projeção da estrutura de povoamentos de eucalipto. Viçosa, MG, 1994. 138f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais), Universidade Federal de Viçosa, Viçosa-MG, 1994.

HARMS, W. R.; WHITESELL, C. D.; DEBELL, D. S. Growth and development of loblolly pine in a spacing trial planted in Hawaii. **Forest Ecology and Management**, v. 126, n. 1, p. 13–24, 2000.

HARRINGTON, T. B. Silvicultural approaches for thinning southern pines: method, intensity and timing. 2000. **School of Forest Resources**, Geórgia, EUA, Disponível em: <[www.gfc.state.ga.us/Resources/Publications/ForestManagement/SilviculturalApproaches.pdf](http://www.gfc.state.ga.us/Resources/Publications/ForestManagement/SilviculturalApproaches.pdf)>. Acesso em 07 de fev. 2021.

INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES – IBÁ – **Relatório anual 2020**. Disponível em < <https://iba.org/datafiles/publicacoes/relatorios/relatorio-iba-2020.pdf> >. Acesso em: 10 de dez. 2020.

INOUE, M. T.; FILHO, A. F.; LIMA, R. Influência do espaço vital de crescimento na altura e diâmetro de *Pinus taeda* L. **Sci. For.**, v. 39, n. 91, p. 10, 2011.

LEITE, H. G.; NOGUEIRA, G. S.; MOREIRA, A. M. Efeito do espaçamento e da idade sobre variáveis de povoamentos de *Pinus taeda* L. **Revista Árvore**, v. 30, n. 4, p. 603–612, 2006.

LIMA, R. Crescimento de *pinus taeda* L. em diferentes espaçamentos. 2010. 104 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba-PR, 2010.



LONG, J. N.; SMITH, F. W. Relation between size and density in developing stands: a description and possible mechanisms. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 7, p. 191-206, 1984.

MACHADO, S. do A. Estimativa de sobrevivência de *Pinus taeda* em plantios homogêneos. **Revista Floresta**, v.10, n.1, p.73-76, 1979.

MARANGON, G. P.; SCHNEIDER, P. R.; ZIMMERMANN, A. P. L.; LONGHI, R. V.; CAVALLI, J. P. Density management diagrams for stands of *Eucalyptus grandis* W. Hill RS, Brazil. **Revista Árvore**, v. 41, n. 1, 2017. Disponível em: <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0100-67622017000100108&lng=en&tng=en](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-67622017000100108&lng=en&tng=en)>. Acesso em: 4 de dez. 2019.

MIRANDA, R. O. V. de; FIGUEIREDO FILHO, A.; MACHADO, S. do A.; CASTRO, R. V. O.; FIORENTIN, L. D.; BERNETT, L. G.; Modelagem da mortalidade em povoamentos de *Pinus taeda* L. **Scientia Forestalis**, v. 45, n. 115, p. 435-444, 2017.

PELISSARI, A. L.; CALDEIRA, S. F.; DRESCHER, R. Desenvolvimento Quantitativo e Qualitativo de *Tectona grandis* L.f. em Mato Gross. **Floresta e Ambiente**, 2013.

PENTEADO, S. do R. C.; PENTEADO JUNIOR, J. F.; BUHRER, C. de B.; POSANSKI, R. G. Custo de aplicação do inóculo de nematoide, em gelatina e em hidrogel, para o controle da vespa-da-madeira. Comunicado Técnico 341. Colombo – PR. 2014.

REID, R. Silvicultural management of Australian blackwood (*Acacia melanoxylon*) in plantations and multi-purpose forests. In: GOVE, J. H. Structural stocking guides: a new look at an old friend. **National Research Council Canada**, Ontario, v. 34, n. 5, 2004.

REINEKE, L. H. Perfecting a stand-density index for even-aged forests. **Journal of Agricultural Research**, Washington, v. 46, p. 627-638, 1933.

SAMUELSON, L. J.; EBERHARDT, T. L.; BUTNOR, J. R.; STOKES, T. A.; JOHNSEN, K. H. Maximum growth potential in loblolly pine: results from a 47-year-old spacing study in Hawaii. **Canadian Journal of Forest Research**, v. 40, n. 10, p. 1914–1929, 2010.

SANQUETTA, C. R.; REZENDE, A. V.; GAIAD, D.; SCHAAF, L. B.; ZAMPIER, A. C. Produção de Madeira Roliça para Serraria de *Pinus taeda* no Sul do Brasil: Abordagem Experimental. **Silva Lusitana**, v. 9, n. 2, p. 161–169, 2001

SANQUETTA, C. R.; ARCE E. J.; MELLLO, A. A. de.; SILVA E. Q.; BARTH FILHO, N.; MATOSKI L.S., Produção de madeira livre de nós em povoamentos de *Pinus taeda* em função da densidade de plantio. **CERNE**. 2003, 9 (2), 129-140 Disponível em: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=74409201> Acessado em 3 de jan. 2021.

SANQUETTA, C. R.; MORA, A. L.; BORSATO, R.; VIDAL, M. A. S.; PEIXOTO, A. M. M.; CHIARANDA, R. Efeito do espaçamento de plantio em reflorestamentos de *Pinus taeda* L. em Jaguariaíva- PR. **Acadêmica** 2003; 1(1): 55-61.

SCHNEIDER, P. R.; FINGER, C. A. G. Influência da intensidade do desbaste sobre o crescimento em altura de *Pinus elliottii* E. **Ciência Florestal**. Santa Maria, v. 3, n. 1, p. 171-184. 1993.

SCHNEIDER, P. S. P.; FLEIF, F. D.; SCHNEIDER, P. R.; FINGER, C. A. G. Avaliação da relação densidade e diâmetro em povoamento de *Pinus taeda*. **Ciência Florestal**, v. 18, n. 4, p. 481, 30 dez. 2008.

SCHNEIDER, P. S. P.; FINGER, C. A. G.; SCHNEIDER, P. R. Relação do quociente do diâmetro pela área basal com o autodesbaste em povoamento equiâneo de *Pinus taeda* L. **Ciência Florestal**, v. 23, n. 1, 2013. Disponível em:

<<http://cascavel.ufsm.br/revistas/ojs-2.2.2/index.php/cienciaflorestal/article/view/8451>>. Acesso em: 23 de nov. 2019.

SCHNEIDER, P. S. P.; FINGER, C. A. G.; SCHNEIDER, P. R.; MENDES, J. O. Trajetória bioeconômica dos regimes de manejo em povoamentos de *Pinus taeda* L. **Ciência Florestal**, v. 28, n. 3, p. 1104, 2018.

SCHUCHOVSKI, M. S.; ARCE, J. E.; OLIVEIRA, E. B. DE. Altura dominante e índice de sítio para *Pinus taeda* em dois polos de desenvolvimento florestal no sul do Brasil. **Scientia Forestalis**, v. 47, n. 121, 2019. Disponível em:

<<http://www.ipef.br/publicacoes/scientia/leitura.asp?Article=09&Number=121>>. Acesso em: 27 de out 2020.

SCOLFORO, J. R. S. Modelagem do crescimento e da produção de florestas plantadas e nativas. Lavras: UFLA/FAEPE, 1998, 441p.

SHIMIZU, J. Y. **Pínus na silvicultura brasileira**. Embrapa Florestas, 2008.

SIMÕES, J. W.; BRANDI, R. M.; MALINOVSKY, J. R. **Formação de florestas com espécies de rápido crescimento**. Brasília: IBDF/PNUD/FAO, 1976. 74p.

SUTTON, W. R. J. Effect on initial spacing on branch size. In: Symposium N° 12 Proceedings, Forest Research Institute, New Zealand Forest Service, 1970.

TANG, S.; MENG, F. R.; MENG, C. H. The impact of initial stand density and site index on maximum stand density index and self-thinning index in a stand self-thinning model. **Forest Ecology and Management**. v. 75, p. 61-68, 1995.

VALEJOS, O. S. B. Sistema de simulação de crescimento e produção de *Populus* spp., no Chile (Sistema SALICA). Curitiba, 2003. 110f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba-PR, 2003.

WREGE, M. S.; STEINMETZ, S.; REISSER JÚNIOR, C.; ALMEIDA, I. R. de; **Atlas climático da região sul do Brasil: estados do Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul**. Brasília: Embrapa, 2 ed. 2012, 334 p.]

YODA, K., KIRA, T., OGAWA, H., and HOZUMI, K. Self-thinning in overcrowded pure stands under cultivated and natural conditions (Intraspecific competition among higher plants XI). J. Institute Polytech. Osaka City University, Series D. 14: 107-129. 1963.